



HAL
open science

Évaluation d'une expérimentation randomisée de la pensée informatique, vecteur d'apprentissage des mathématiques au cycle 3 de l'école élémentaire, en classes de CM1 et CM2

Manon Laurent

► **To cite this version:**

Manon Laurent. Évaluation d'une expérimentation randomisée de la pensée informatique, vecteur d'apprentissage des mathématiques au cycle 3 de l'école élémentaire, en classes de CM1 et CM2. Education. Université Grenoble Alpes [2020-..], 2022. Français. NNT : 2022GRALH015. tel-03947031

HAL Id: tel-03947031

<https://theses.hal.science/tel-03947031v1>

Submitted on 19 Jan 2023

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.

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES

École doctorale : SHPT - Sciences de l'homme, du Politique et du Territoire

Spécialité : Sciences de l'Éducation

Unité de recherche : Laboratoire de Recherche sur les Apprentissages en Contexte

Évaluation d'une expérimentation randomisée de la pensée informatique, vecteur d'apprentissage des mathématiques au cycle 3 de l'école élémentaire, en classes de CM1 et CM2

Assesment of a randomized trial of computational thinking as a vehicle for learning mathematics in primary schools, in grades 4 and 5.

Présentée par :

Manon CHEVALIER

Direction de thèse :

PASCAL BRESSOUX

Professeur des universités, Université Grenoble Alpes

Directeur de thèse

Rapporteurs :

André TRICOT

PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université Montpellier 3-Paul Valéry

Benoit GALAND

PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université catholique de Louvain

Thèse soutenue publiquement le **7 octobre 2022**, devant le jury composé de :

PASCAL BRESSOUX

PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université Grenoble Alpes

Directeur de thèse

Erica DE VRIES

PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université Grenoble Alpes

Présidente

André TRICOT

PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université Montpellier 3-Paul Valéry

Rapporteur

Benoit GALAND

PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université catholique de Louvain

Rapporteur



« Je pense qu'un des gros blocages qu'on a dans l'enseignement des mathématiques, c'est que l'erreur prend une place invraisemblable. On ne peut pas faire d'erreurs quand on fait des maths. Si on se trompe, c'est zéro, un point c'est tout alors que ce n'est pas du tout comme ça qu'on apprend. Une danseuse, par exemple, va refaire mille fois le même geste avant de parvenir à faire ce qu'elle veut. C'est la même chose en maths et en recherche. Je fais des erreurs au quotidien. »

Hugo Duminil-Copin (2022, 5 juillet). *Pour Hugo Duminil-Copin, lauréat de la médaille Fields, les mathématiques peuvent être "le hobby de tout le monde"* [Emission de radio]. France info.

Remerciements

Mes remerciements s'adressent en premier lieu à mon directeur de thèse, le professeur Pascal Bressoux, pour m'avoir offert cette très belle opportunité de me consacrer à ce travail de thèse. Je ne m'attendais pas à ce que ma reprise d'études prenne cette tournure, je suis très heureuse d'avoir accepté de prendre ce chemin qui me réjouissait autant qu'il m'inquiétait. J'ai le sentiment d'avoir beaucoup appris au cours nos très nombreux échanges et je le remercie pour cela, ainsi que pour sa disponibilité, son ouverture d'esprit et ses précieuses relectures en fin de parcours.

Je remercie les rapporteurs et examinateurs de mon travail, les professeurs Margarida Romero, Erica De Vries, André Tricot et Benoit Galand, qui m'ont fait l'honneur et la joie d'accepter de former mon jury de thèse et consacrer de leur temps à la lecture et l'évaluation de mon manuscrit. Suite à des difficultés personnelles, le professeur Margarida Romero n'a pu établir son rapport en tant qu'examinatrice et participer à mon jury de thèse, nous en étions tous désolés et espérons que d'autres occasions d'échanger verront le jour dans un futur proche.

Je remercie la mission Monteil qui a travers e-FRAN a rendu possible ce projet. Je remercie l'équipe Expire : Pierre Tchounikine qui a porté et défendu ce projet, nos débats ont nourri mes réflexions méthodologiques et conceptuelles (et j'espère qu'une forme de réciprocité sur ces points a pu s'établir entre nous). Merci à Vanille et Estelle qui ont beaucoup œuvré pour la réussite de ce projet. Merci à Hamid Chaachoua pour sa disponibilité, sa science et sa patience. J'ai mieux compris grâce à lui, quelques nuances de la didactique des mathématiques. Je remercie aussi pour cela Rosa, qui a mené sa thèse en duo avec moi, en didactique des maths. Nos échanges ont été source de compréhension et d'enrichissement mutuels, au-delà de la recherche, nous avons partagé, énormément de moments de grande qualité. Je remercie Cécile Nurra, qui m'a soutenue, encouragée et poussée, elle est toujours parvenue à me persuader que je pouvais y arriver.

Je remercie chaleureusement les enseignants et leur élèves qui se sont prêtés à notre expérimentation, tout particulièrement ceux qui ont accepté que je leur rende visite, pour observer avec mes gros yeux leurs pratiques et échanger un peu avec eux. Merci aux partenaires qui ont équipé les écoles, formé des enseignants, dispensé des activités pour permettre au projet Expire d'être mené : la ville de Grenoble, « La Casemate », l'Inspé de Grenoble.

Je remercie les membres du LaRAC. Vicky Markaki Lothe et Erica De Vries pour leurs échanges, leur soutien et leur franchise au cours de nos comités de suivi de thèse. Merci à Erica aussi pour les échanges dynamiques et structurants lors de nos moments de rédaction. A Laurent Lima qui a accepté, à chaque fois que je l'en ai prié, de relire mes communications. A Philippe Dessus, qui n'a jamais manqué de me transférer des articles pertinents pour mon sujet, à Pierre Bataille pour m'avoir conseillé un logiciel sympa d'analyses qualitatives en ligne, à Lucile Vadcard, qui a pris de son temps pour m'initier au traitement des données qualitatives. Merci à Fanny Gimbert pour avoir repris avec moi les « ateliers du LaRAC », une fois toutes les deux semaines, très endurant ! Merci à Nadia Leroy, Salomé Cojean, Irène et Séverine pour leurs nombreux échanges qui m'ont permis de mener mes enseignement d'ATER au département des sciences de l'éducation. Et merci Fanny et Cécile (encore !), Nadia Nakhili,

Natacha Boissicat, Céline Pobel, les collègues de l'Inspé, qui m'ont guidé dans la mise en œuvre de mes enseignements en tant qu'ATER. Merci à Mathilde, Ludivine, Marina, d'avoir apporté autant de joie et de rires que de sérieux dans ce mystique bureau C216 où nous avons sévi ces années (après réflexion, il semble plus juste de dire que la joie l'a emporté ! Vive la joie !). Merci à Séverine et Carole pour nos échanges et nos fameux ateliers de rédaction ! Sans cela, je n'en serai peut-être qu'à l'intro. Merci à Fernando pour sa constante prévenance, la richesse de ses réflexions, scientifiques et sur l'état de notre monde. Espérons que tes discours et ceux des autres fournis de ton acabit porteront leurs fruits. Merci à Irène, toujours en première ligne ! Merci à Emeline, Sandrine Arzac, Laurent Brun, Fanny Magoutier, Marieke et Ophélie pour les moments d'échanges et leur bonne humeur. Merci à Sandrine Lescure pour veiller avec une extrême bienveillance à ce que toutes nos paperasses soient en règle. Merci à Marie Luette de l'école doctorale pour sa bienveillance et son professionnalisme. Merci également à Peggy Eloy, DRH des enseignants du 1^{er} degré, qui a reconduit avec constance ma disponibilité, mon détachement, ma mise à disposition ou que sais-je...

Je remercie Dominique et sa bulle d'air/d'aide, qui m'a poussée à réfléchir plus sereinement... beaucoup plus ! Je remercie toutes ces adorables personnes qui m'ont manifesté intérêt, soutien et bienveillance. Gilles, Bérangère et Sybille, nos amis bretons (in BZH we trust !) qui ont une certaine expérience de la thèse (voire une expérience certaine), Laurence ma voisine, qui sans mettre la pression, demandait souvent à Romain si j'avancais bien, Paul et Marie Paule, mes beaux-parents qui se lanceront peut-être un jour dans la même expérience, Francine, l'amie de ma maman qui s'est extasiée dès le début de cette aventure.

Je remercie mes copines qui m'ont beaucoup soutenue et rassurée ou parfois oubliant que je faisais une thèse (ah oui, c'est vrai !! C'est long non ?), et c'était très bien comme ça ! Spéciale dédicace à Maga, Babeth, Fabienne, Elo, Cath, M'rou ! Il n'est pas exclu que nous nous croisions plus régulièrement, en terrasse, en balade ou dans un lac ! Je remercie ma copine Naïma que je ne vois pas assez, mais dont les analyses ethno-sociologiques, aussi joyeuses qu'acides m'inspirent énormément !

Je remercie mon p'tit Yo, gentil frère, pour s'être intéressé, de très loin (16 897 km !) à mes aventures universitaires. Je remercie très fort mes parents qui se sont montrés très enthousiastes à ce projet, s'y sont intéressés et m'ont soutenue chaque fois je faiblissais.

Enfin, je remercie infiniment Romain qui m'a poussée avec constance vers la thèse. Il savait avant moi que j'en passerais par là, a tout fomenté pour que je la mène à son terme ! Prenant à sa charge tâches ménagères, trajets des enfants, rdv médecins, jusqu'à la ligne d'arrivée. La thèse me manquera pour cela !! Un immense merci enfin à mes deux choux, mes enfants chéris, Ninon et Samson. Le temps de ma thèse les a vus grandir. Ils m'ont encouragée et accompagnée, ils sont ma force-boussole, je leur dédie ce travail qui prouve qu'avec du soutien et de la persévérance, on traverse bien des situations qui nous semblent risquées et au-delà de notre portée et... on atteint sa cible, *inch'Allah*.

Je n'oublie pas le gentil Nélo, qui n'a jamais renoncé à m'escorter, en tout temps, à toute heure, de jour, de nuit, qu'il pleuve, qu'il neige ! Je te remercie mon gros toutou, de m'avoir quotidiennement sorti la tête des lectures pour retrouver la quiétude des bois.

Résumé

L'objectif de cette thèse est d'évaluer les effets de la pratique précoce de la programmation visuelle avec *Scratch* sur les performances en mathématiques, l'anxiété en mathématiques (Ashcraft & Kirk, 2001; Ashcraft & Krause, 2007; Ashcraft & Moore, 2009; Hembree, 1990), le sentiment de compétence en mathématiques (Harter, 1985) et la motivation autodéterminée en mathématiques (Guay *et al.*, 2010 ; Ryan & Deci, 2000) dans le cadre du projet Expire (Expérimenter la Pensée Informatique pour la Réussite des Elèves, projet e-fran 2017). Ce projet fait écho à la demande internationale d'introduire la pensée informatique dans les programmes scolaires (Bocconi *et al.*, 2016 ; Tang *et al.*, 2019 ; Wing & Stanzione, 2016) afin de doter les élèves des habiletés numériques indispensables à l'insertion dans une société de plus en plus numérique et favoriser leurs apprentissages, particulièrement en mathématiques, en raison de la proximité des processus cognitifs impliqués dans ces deux domaines (Scherer, 2016 ; Shute *et al.*, 2017). La programmation, considérée comme un moyen d'enseigner, évaluer et exposer les étudiants à la pensée informatique, est massivement introduite au sein des programmes de mathématiques au primaire, comme c'est le cas en France (Bocconi *et al.*, 2016).

Nous testons les hypothèses que les performances ainsi que les variables conatives citées précédemment seront positivement influencées par l'utilisation de la programmation en classe. Pour cela nous avons mis en œuvre un ECR auprès de 2472 élèves du bassin grenoblois en CM1 et CM2, recrutés en 2017-2018. Le groupe expérimental, « programmation » réalise des activités de programmation sur trois séquences d'apprentissage mathématiques tandis que le groupe « contrôle » met en œuvre une pédagogie classique d'apprentissage pour ces mêmes séquences. Des mesures conatives en amont et en aval de l'expérimentation ainsi que des scores de réussite en mathématiques ciblés sur les notions travaillées ont été prises en pré et post-test pour chaque séquence. Des analyses multi-niveaux nous ont permis de rendre compte d'une détérioration des apprentissages au cours des différentes séquences sous l'effet de la pratique expérimentale. Nous n'avons montré aucun effet de cette pratique sur nos variables conatives.

Mots clés : pensée informatique, mathématiques, programmation, école primaire, efficacité enseignement, anxiété mathématique, motivation autodéterminée, sentiment de compétence.

Abstract

The aim of this thesis is to evaluate the effects of early visual programming practice with *Scratch* on mathematics performance, mathematics anxiety (Ashcraft & Kirk, 2001; Ashcraft & Krause, 2007; Ashcraft & Moore, 2009; Hembree, 1990), perceived competence in mathematics (Harter, 1985) and self-determined motivation in mathematics (Guay *et al.*, 2010; Ryan & Deci, 2000) as part of the Expire project (Experimenting with Computational Thinking for Student Success, e-fran 2017 project). This project responds to the international demand to introduce computational thinking into school curricula (Bocconi *et al.*, 2016; Tang *et al.*, 2019; Wing & Stanzone, 2016) in order to equip students with the digital skills needed to integrate into an increasingly digital society and to foster learning, particularly in mathematics, due to the proximity of the cognitive processes involved in the two domains (Scherer, 2016; Shute *et al.*, 2017). Programming is seen as a way to teach, assess and expose students to computational thinking, it is often introduced within primary mathematics curricula, as in France (Bocconi *et al.*, 2016).

We test the hypotheses that performance and the conative variables mentioned above will be positively influenced by the use of programming in the classroom. For this purpose, we implemented a randomized controlled trial with 2472 pupils in the Grenoble area in grades 4 and 5, recruited in 2017-2018. The experimental group, "programming", carries out programming activities over three mathematical learning sequences, while the "control" group implements a classic learning pedagogy for these same sequences. Conative measures before and after the experimentation as well as achievement scores in mathematics targeted on the notions worked on were taken in pre and post-test for each sequence. Multi-level analyses allowed us to report a deterioration of learning during the different sequences under the effect of the experimental practice. We showed no effect of this practice on our conative variables.

Keywords: computational thinking, mathematics, programming, primary school, teaching effectiveness, mathematical anxiety, self-determined motivation, sense of competence.

Sommaire

Introduction contextualisée 8

Partie théorique..... 15

Chapitre I - Evaluer l'efficacité d'un dispositif numérique d'apprentissage 16

Chapitre II - La pensée informatique, un outil numérique comme vecteur d'apprentissage des mathématiques à l'école primaire 40

Chapitre III - Apprendre les mathématiques en programmant : les questions de la mémoire de travail et du transfert d'apprentissage 61

Chapitre IV - Motivation, sentiment de compétence et anxiété : freins et leviers conatifs aux apprentissages 91

Problématique générale et hypothèses de travail 111

Partie expérimentale - Une étude empirique randomisée utilisant les activités de programmation comme véhicule d'apprentissage des mathématiques en CM1 et CM2 114

Chapitre I - Méthodologie 115

Chapitre II – Efficacité des activités mathématiques utilisant la programmation visuelle sur les apprentissages mathématiques 148

Chapitre III - Effets des activités de programmation en mathématiques sur la conation mathématique 168

Chapitre IV – Eléments d'éclairage liés à l'implantation du dispositif 185

Chapitre V - Limites et perspectives de recherche 203

Chapitre VI - Conclusion générale 208

Références 215

Liste des tableaux 239

Liste des figures 240

Table des matières complète 242

Annexes 248

Introduction contextualisée

Notre thèse porte sur l'évaluation d'un dispositif randomisé d'apprentissage des mathématiques s'appuyant sur le numérique comme vecteur d'apprentissage au CM1 et CM2. Plus précisément, il utilise la pensée informatique, opérationnalisée par des activités de programmation pour apprendre trois notions mathématiques ciblées en comparaison d'un groupe contrôle, qui travaille les mêmes notions selon des activités traditionnelles. Ce dispositif d'apprentissage fait partie des projets e-FRAN, initiés par la mission Monteil (mission interministérielle sur le numérique éducatif), déployés au niveau national, et financés par ce consortium dont l'objectif est d'expérimenter « de nouvelles manières d'enseigner et d'apprendre, à partir de dispositifs pédagogiques et numériques innovants dans un cadre scientifique rigoureux » (<https://www.gouvernement.fr/e-fran-l-ecole-change-avec-le-numerique>). Nous répondons à l'objectif e-FRAN à travers le projet « Expérimenter la Pensée Informatique pour la Réussite des Elèves » (Expire) porté par Pierre Tchounikine, du laboratoire d'informatique de Grenoble¹ en expérimentant la pensée informatique à travers des activités de programmation pour développer les compétences en mathématiques en CM1 et CM2.

Nous ciblons les mathématiques car les acquisitions dans cette discipline sont des déterminants forts de la réussite académique et de l'insertion sociale et professionnelle. A ce titre, elles font l'objet de nombreuses enquêtes nationales et internationales, telles que PISA et TIMSS, à différents temps de la scolarité, afin de juger de l'efficacité de leur enseignement. L'apprentissage des mathématiques en France est un sujet de préoccupation majeure, car dès l'école primaire les performances montrent un affaiblissement du niveau dans le temps, comme en témoignent les résultats à 30 ans d'intervalle des élèves de CM2 en calcul qui indiquent une chute spectaculaire des performances sur des *items* identiques (Ministère de l'éducation

¹ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, LIG, 38000 Grenoble, France

nationale, 2019). Cette enquête rapporte que le niveau en calcul des élèves les plus avancés en 2017 correspond à celui des plus fragiles en 1987. Cet affaissement des performances en mathématiques affecte toutes les catégories sociales, bien que les différences entre catégories favorisées et défavorisées subsistent. Il existe en effet des écarts significatifs entre les élèves les moins performants et les plus performants qui s'accroissent avec le temps (CNESCO, 2015 ; OCDE, 2015). A ce titre la France est le pays de l'OCDE où le poids du statut socio-économique sur la performance est le plus élevé : de l'ordre de 20 % contre 13 % en moyenne dans les pays de l'OCDE en 2015.

Le constat est également inquiétant au niveau international en termes de comparaisons internationales : les résultats des élèves français les placent en queue des différents classements (Ministère de l'éducation nationale, 2016). Les enquêtes TIMSS (*Trends in International Mathematics and Science Study*), évaluent tous les quatre ans les compétences en mathématiques et en sciences, en fin de quatrième année (CM1 en France) pour TIMSS4, et en fin de huitième année (4^e en France) pour TIMSS8. La France s'est associée à l'enquête TIMSS4 pour la première fois en 2015 avec 48 autres pays et provinces (CNESCO, 2015 ; Ministère de l'éducation nationale, 2016). Cette enquête pointe les difficultés de notre système éducatif à faire réussir ses élèves en mathématiques dès le primaire, avec un score moyen de 488 points (intervalle de confiance à 95% compris entre 482 et 494) contre des moyennes internationale et européenne respectivement de 500 et 527 points. En 2015, 44% des élèves français étaient classés dans le quartile européen des élèves les plus fragiles tandis que seulement 11% d'entre eux étaient classés dans le quartile des élèves les plus avancés (Ministère de l'éducation nationale, 2016). Les enquêtes TIMSS4 de 2015 et 2019 affichent une grande stabilité de la faiblesse des résultats en mathématiques en CM1 au cours de ces quatre années. Les difficultés des élèves français se renforcent avec le temps : la France ne parvient à amener que 2% de ses élèves de 4^e à un niveau avancé de mathématiques contre 11% en moyenne dans les autres pays participants (TIMSS8 de 2019). Ces enquêtes font également ressortir que la motivation et la confiance en soi des élèves en mathématiques s'est dégradée en France entre le CM1 (TIMSS4 de 2015) et la 4^e de collège (TIMSS8 de 2019). Or ces variables conatives agissent en constellation d'approche ou d'évitement sur les apprentissages (Achcraft & Rudig, 2015 ; Moore *et al.*, 2015 ; Viau, 1995) et impactent la réussite des élèves (Hattie, 2008).

L'ensemble de ces éléments amène à considérer comme un défi majeur de concevoir des pratiques d'enseignement des mathématiques influençant positivement les variables cognitives et non cognitives, ne portant pas directement sur les acquisitions disciplinaires, en faveur d'un apprentissage de qualité au bénéfice de tous les élèves. Ce défi commence par l'évaluation des pratiques innovantes d'ores et déjà à l'œuvre dans nos programmes scolaires, comme c'est le cas de l'utilisation des activités de programmation, dont l'initiation est souvent intégrée aux enseignements mathématiques, dès l'école primaire à partir de la rentrée 2016 (Bulletin officiel spécial n°11 du 26 novembre 2015). La plupart des pays de l'OCDE ont intégré l'usage du numérique dans les pratiques de classes depuis plus de 30 ans afin de familiariser les élèves à ces outils, mais également pour tester de nouvelles façons d'apprendre potentiellement plus efficaces (European Commission, 2019 ; Livingstone, 2012 ; OECD 2010 ; 2015). Parmi les usages du numérique, la pensée informatique intéresse les décideurs politiques (Bocconi *et al.*, 2016 ; Wing, & Stanzone, 2016) qui ont œuvré massivement à l'intégrer dans les programmes scolaires de leurs différents systèmes éducatifs (Brown *et al.*, 2013 ; Conrad *et al.*, 2017 ; Hickmott *et al.*, 2017).

La pensée informatique est une façon de résoudre des problèmes avec des algorithmes, faisant appel à l'abstraction, la décomposition et le débogage. Elle favoriserait les apprentissages des matières scientifiques grâce à ses caractéristiques intrinsèques facilitant le raisonnement (Grover & Pea, 2013 ; Shute *et al.*, 2017). Souvent opérationnalisée en classe *via* des activités de programmation (Scherer, 2016 ; Scherer *et al.*, 2019), elle est considérée comme un potentiel véhicule d'apprentissage des mathématiques (Clements, 2000 ; Hoyles & Noss, 1987 ; Shute *et al.*, 2017 ; Voogt *et al.*, 2015). Le développement d'outils de programmation visuelle dans les années 2000 encourage la diffusion de la programmation en classe. Ces langages sont plus accessibles que les langages de programmation textuels qui les ont précédés, qui posaient de nombreuses difficultés d'utilisation, notamment liées à la complexité de leurs syntaxes (Cheng, 2019). Ces nouveaux outils offrent des possibilités de transfert d'apprentissage de la programmation vers les mathématiques (Calao *et al.*, 2015 ; Grover & Pea, 2013 ; Lye & Koh, 2014 ; Scherer, 2016 ; Shute *et al.*, 2017).

Le projet Expire s'appuie sur la pensée informatique pour faire des mathématiques, il a donné lieu à deux travaux de thèses, le premier en didactique des mathématiques² portait sur la conception et l'analyse didactique des séquences du projet ainsi que l'analyse des pratiques enseignantes. Le second, en sciences de l'éducation, a pour objectif d'évaluer l'effet des séquences sur les acquisitions et les variables motivationnelles étudiées. Plus précisément, nous évaluons l'effet de la pensée informatique, *via* des activités de programmation, sur des acquisitions spécifiques en mathématiques à travers trois séquences d'apprentissage, portant respectivement sur la division euclidienne, la connaissance des nombres et les fractions (pour les élèves de CM2 seulement pour cette dernière séquence). Nous évaluons également l'effet de l'ensemble des séquences du dispositif sur la motivation autodéterminée en mathématiques, le sentiment de compétence en mathématiques et l'anxiété en mathématiques. Il s'agit de comparer des pratiques rencontrées dans les classes de mathématiques : d'un côté l'approche « traditionnelle » (sur papier) et de l'autre une approche en plein essor, s'appuyant sur la programmation, le plus souvent avec *Scratch*.

Notre étude a ainsi comme objectif d'évaluer un dispositif proposant l'utilisation de la programmation, pour apprendre les mathématiques en vue d'établir si l'usage de la programmation est une piste intéressante pour améliorer les apprentissages en mathématiques et développer vis-à-vis des mathématiques une motivation plus autonome, un meilleur sentiment de compétence et une anxiété plus faible. Cette évaluation sera réalisée grâce à la mise en œuvre d'un essai contrôlé randomisé (ECR, ou *Randomized Controlled Trial, RCT*).

Les activités de programmation du dispositif ont été déployées avec le logiciel de programmation visuel *Scratch* qui présente plusieurs avantages parmi lesquels : gratuité, facilité de prise en main et présence de rétroactions visuelles directes du résultat de l'exécution des programmes dans un espace spécifique de visualisation (Maloney *et al.*, 2010). Pour beaucoup d'exercices, le programme déclenche une suite de déplacements d'un curseur. Les concepteurs des exercices mathématiques de notre dispositif avec *Scratch* ont ralenti les rétroactions visuelles afin que les élèves puissent observer, étape par étape, les différents mouvements du curseur et établissent le lien avec les instructions de leur programme. Cela

² Voir Crisci, R. (2020). *Etude des conditions de viabilité d'une approche basée sur l'algorithmique et la programmation pour l'apprentissage de la division euclidienne à l'école primaire* (Thèse de doctorat, Université Grenoble Alpes). <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03116813/document>

permet aux élèves d'évaluer si les mouvements provoqués par leur programme correspondent à ce qu'ils avaient prévu que leurs instructions de programmation produisent.

Les activités réalisées sous *Scratch* doivent permettre d'appréhender la notion ciblée (division euclidienne, connaissance des nombres ou fractions) par la programmation. Pour cela, les élèves réalisent des programmes qui sont une formulation algorithmique de la notion mathématique ciblée³. Le dispositif prévoit des temps de verbalisation, orchestrés par l'enseignant, pour faciliter le passage du registre de la programmation vers celui de l'écriture symbolique mathématique, désigné sous le terme de conversion de registre (Duval, 1993). Il s'agit de temps collectifs où l'enseignant fait correspondre les deux registres (programmation et mathématiques symboliques) en effectuant une « traduction » des programmes en écriture symboliques et en explicitant le raisonnement sous-jacent. Cette traduction correspond au transfert explicite d'apprentissage de la programmation vers l'écriture symbolique mathématique. Le transfert est entraîné par des temps d'activités traditionnelles (sur papier) permettant de réinvestir les connaissances acquises sur la notion étudiée lors des activités de programmation, dans un environnement cette fois-ci familier.

Dans une première partie, nous dresserons un état de l'art qui se décline en quatre chapitres. Le premier chapitre portera un éclairage sur l'évaluation de dispositifs d'apprentissage, en ciblant l'efficacité de l'enseignement en général et plus spécifiquement en mathématiques. Nous y présenterons les effets du numérique dans l'enseignement des mathématiques, sans distinction d'outils : les enjeux, les contraintes, les recherches sur l'efficacité de ces dispositifs et leurs limites.

Le deuxième chapitre ciblera un outil numérique spécifique : la pensée informatique pour apprendre les mathématiques. Nous montrerons que plusieurs vagues de recherches se sont intéressées aux effets de la pensée informatique, fréquemment opérationnalisée en classe par la programmation, sur les mathématiques. Il sera question du langage de programmation *Logo* développé par Seymour Papert dans les années 60. Son usage en classe devait permettre de rendre plus accessibles les concepts mathématiques abstraits selon sa théorie de l'apprentissage

³ Algorithmes et programmes sont liés de la façon suivante : l'algorithme définit un ensemble de tâches à accomplir en un nombre fini d'opérations pour résoudre un problème ; il peut être traduit en un programme exécutable par un ordinateur, en utilisant les éléments de codage du langage de programmation choisi.

des mathématiques, le constructionnisme, héritière du constructivisme de Piaget. Nous verrons que cette première phase d'utilisation de la programmation pour faire des mathématiques n'a pas satisfait aux attentes escomptées, car les outils de programmation étaient difficilement accessibles aux novices. Depuis les années 2000, l'usage de la programmation connaît un regain d'intérêt, grâce au développement des langages de programmation visuels, plus accessibles que les langages textuels, y compris aux programmeurs les plus jeunes. Ces langages offrent de multiples intérêts, dont l'un des plus importants est la suppression des erreurs de syntaxe, frein majeur des langages de programmation textuels pour les programmeurs inexpérimentés. Nous dresserons à cet endroit une présentation des effets de l'utilisation des langages de programmation visuels et textuels sur les acquisitions, en mathématiques plus particulièrement.

Notre troisième chapitre s'arrêtera sur des questions relatives aux processus d'apprentissage, dont les spécificités de notre étude rendent l'examen pertinent. Nous traiterons ici de l'effet de l'utilisation des langages de programmation sur la mémoire de travail, maillon indispensable aux apprentissages, dont les limites tiennent à sa rapide surcharge du fait de son empan très contraint. Nous interrogerons la littérature pour connaître le bénéfice des environnements de programmation visuelle au regard de l'utilisation des langages textuels. Puis nous aborderons la délicate question du transfert d'apprentissage. Loin d'être une étape naturelle qui suivrait logiquement tout enseignement, le transfert d'apprentissage d'une situation à une autre est complexe et doit, pour se réaliser, être soutenu, notamment par l'explicitation. Pour autant, notamment en mathématiques, le transfert d'apprentissage d'une situation à une autre, ou conversion de registre selon Duval (1993), est un gage d'apprentissage profond. Le transfert d'apprentissage est particulièrement difficile à produire si les compétences ciblées sont générales. Pour mieux le comprendre, nous présenterons à cette occasion ses mécanismes, ses conditions de réalisation et son intérêt pour les apprentissages.

Notre quatrième chapitre présentera les relations entretenues entre les variables conatives que nous étudions et les performances. Dans un premier temps, nous apporterons pour chacune des variables étudiées (motivation autodéterminée pour les mathématiques, le sentiment de compétence en mathématiques et anxiété en mathématiques), une définition, les facteurs antécédents à leur formation et les conséquences sur les acquisitions en mathématiques. Nous montrerons comment ces variables sont corrélées et agissent en conséquence en facteurs de constellation d'approche ou d'évitement des apprentissages. Dans un second temps, nous nous

intéresserons aux effets des outils numériques et plus spécifiquement de la programmation sur la conation.

Notre deuxième partie présentera six chapitres. Le premier apportera les éléments de méthodologie communs aux recherches cognitives et conatives que nous avons développées pour notre thèse. Nous y décrirons notamment le dispositif mis en œuvre, les activités des deux groupes (programmation et contrôle) et les principes de conception de ces activités. Le deuxième chapitre présentera les résultats des analyses des acquisitions mathématiques, une discussion de ceux-ci ainsi que les limites et perspectives de recherche. Le troisième chapitre présentera les résultats, discussions, limites et perspectives liés aux analyses des modèles conatifs de notre dispositif. Le quatrième chapitre apportera des indicateurs d'implantation du dispositif, notamment l'analyse des réponses des enseignants à deux questionnaires, le premier réalisé en amont de l'expérimentation, et le second réalisé en aval. Le chapitre cinq développera les limites et perspectives de recherche. Nous clôturerons notre travail de thèse par une conclusion générale développée dans le sixième chapitre.

Partie théorique

Chapitre I - Evaluer l'efficacité d'un dispositif numérique d'apprentissage

1. Evaluation de l'efficacité des pratiques dans l'enseignement

A. Des effets imbriqués

Définition

L'enseignement efficace selon Bloom, (1979, cité par Demeuse *et al.*, 2005) est caractérisé par trois effets combinés : « une élévation de la moyenne de l'ensemble des résultats ; une réduction de la variance de l'ensemble des résultats ; une diminution de la corrélation entre l'origine sociale de chaque élève (et plus généralement ses caractéristiques initiales) et ses résultats » (pp. 393-394). L'association de ces trois critères ancre l'objectif de l'enseignement efficace dans le « principe d'égalité des acquis » (Demeuse *et al.*, 2005, p. 393). S'il est vrai que les difficultés scolaires sont en partie expliquées par l'origine sociale des élèves (Coleman, 1966 ; Duru-Bellat, 2002 ; Forquin, 1982, cité par Bissonnette *et al.*, 2010), cet effet présente une grande variabilité selon les pays (OCDE, 2020). En France, l'origine sociale explique 21% de la variance des acquisitions chez les élèves de 15 ans, un record au sein des pays de l'OCDE qui affichent une moyenne de 13% pour l'ensemble des pays concernés (OECD, 2014).

L'enseignement est jugé efficace s'il assure le principe d'égalité des acquis, en d'autres termes, s'il fait progresser les élèves quel que soit leur milieu d'origine. « Qualité » et « équité » sont les deux grands piliers de l'efficacité de l'enseignement (Reynolds *et al.*, 2014, p.205), qui doit permettre d'élever le niveau de tous les élèves et réduire l'effet du poids des inégalités sociales sur la réussite académique.

Poids du contexte

Le contexte éducatif est multidimensionnel, à l'image de l'organisation du système éducatif, en strates imbriquées hiérarchiquement (Scheerens, 2016). Chaque niveau influence les acquisitions des élèves : l'établissement, la classe et, au sein de cette classe, l'enseignant. Les analyses statistiques multiniveaux permettent de rendre compte de la part de variance des variables dépendantes attribuable à chacun de ces niveaux (Bressoux, 2010).

En France, ces analyses rendent compte d'un très faible effet-établissement dans l'enseignement primaire, qui explique en moyenne moins de 5% de la variance des acquisitions (Bressoux, 1995), contre 12% en Ecosse et 10% aux USA (Bressoux, 1994). C'est bien davantage l'effet-classe et l'effet-enseignant qui impactent les apprentissages. L'effet-classe englobe l'effet-enseignant ainsi que d'autres effets propres au groupe classe indépendamment de l'enseignant, liés par exemple à la composition de la classe, ou à certaines caractéristiques morphologiques. Ces facteurs jouent, quoique de façon assez modérée, sur les apprentissages ; c'est le cas du niveau moyen des élèves, de la tonalité sociale de la classe (Bressoux, 1994 ; Hattie, 2008 ; Muijs, *et al.*, 2014) et de la taille de classe (Monso, 2014).

Concernant l'effet-classe, les travaux montrent que si la classe explique 10 à 20% de la variance des acquisitions des élèves, selon les disciplines, cette variance est en grande partie due à l'effet-enseignant, les facteurs liés à l'effet-classe, pesant globalement très faiblement (Bressoux, 2001) et c'est très nettement l'effet-enseignant qui exerce le plus d'influence sur les acquisitions des élèves (Suchaut, 2012). Les enseignants identifiés comme très efficaces le sont de façon stable indépendamment des élèves qu'ils ont d'une année sur l'autre (Kane *et al.*, 2013).

L'effet-enseignant

Il n'est pas simple de capter l'effet-enseignant englobé dans l'effet-classe, surtout à l'école primaire où enseignant et classe sont « confondus » dans un même espace-temps. L'effet-enseignant en primaire s'obtient soit en calculant l'effet-classe puis en défalquant les effets liés à tout ce qui ne relève pas de l'enseignant (composition de classe par exemple), soit en évaluant directement l'effet des pratiques enseignantes (Jarlegan *et al.*, 2016 ; Kyriakides *et al.*, 2013 ; Mingat, 1991).

Pour autant, les caractéristiques personnelles des enseignants produisent peu d'effet. Si la littérature issue des recherches processus-produit à longtemp s'évoque les enseignants efficaces et non les pratiques enseignantes efficaces, comme si les pratiques étaient en relation directe avec les qualités intrinsèques de l'enseignant, en dehors de l'ancienneté, on observe très peu de corrélations entre les caractéristiques personnelles de l'enseignant et son efficacité (Muijs, *et al.*, 2014 ; Talbot, 2012). De plus, les variables qui concernent les pratiques enseignantes pèsent bien davantage que celles des caractéristiques personnelles de l'enseignant sur l'élévation du niveau des élèves et la réduction des inégalités sociales (Jarlegan *et al.*, 2016), qui sont les deux grands piliers de l'efficacité de l'enseignement. Il est donc plus juste de parler d'effet des pratiques d'enseignement quand on s'intéresse à l'effet-enseignant (Talbot, 2012).

Ces pratiques produisent des effets d'une grande variabilité sur les apprentissages. De ce fait elles peuvent constituer de véritables leviers pour les apprentissages lorsqu'elles sont efficaces (Muijs, *et al.*, 2014). Les ouvrages de Hattie (2008 ; 2016) synthétisent notamment les effets des pratiques enseignantes issus des recherches internationales et présentent un apport considérable pour embrasser et objectiver la multitude d'effets étudiés. Les effets y sont reportés en termes de d de Cohen, ou effet d'ampleur, afin de permettre leur comparaison. Dans ses méga-analyses, Hattie (2008 ; 2016) repère les pratiques les plus efficaces en les signalant comme étant dans la « zone des effets désirés », c'est-à-dire des effets plus importants que ceux produits par les pratiques typiques. Selon Hattie, la progression naturelle des élèves, lorsqu'ils ne bénéficient pas d'enseignement scolaire, correspond à un effet d'ampleur compris entre $d=0$ à $d=0,15^4$ tandis que les effets d'ampleur typiques des pratiques enseignantes sont compris entre $d=0,15$ et $d=0,40$. L'enseignement efficace correspond alors aux pratiques qui produisent des effets d'ampleur supérieure à ce seuil ($d > 0,40$). Notons que ces résultats doivent cependant être considérés avec prudence car les effets estimés par Hattie sont souvent plus importants que dans les autres méta-analyses, notamment parce qu'ils agrègent les effets des autres niveaux de contexte. De plus un manque de clarté sur les procédures utilisées est à déplorer. Néanmoins ces résultats demeurent intéressants car ils confirment les résultats connus (Muijs, *et al.*, 2014).

⁴ Par convention, $d=0,1$ est un effet très faible ; $d=0,2$ un effet faible ; $d=0,5$ un effet moyen ; $d=0,8$ un effet élevé ; $d=1,2$ un effet très élevé ; $d=2$ un immense effet.

B. Pratiques d'enseignement efficaces sans distinction de discipline

La recherche sur l'efficacité de l'enseignement évalue l'impact de pratiques d'enseignement sur les acquisitions en vue de distinguer celles qui ont les meilleurs effets (*best practices*), dans un souci d'efficacité tant en termes de qualité que d'équité (Dehaene & Pasquinelli, 2020). La littérature sur les pratiques efficaces de l'enseignement met en lumière un important recouvrement des facteurs d'efficacité, dont la combinaison favorise la réussite (Bressoux, 2012).

Ces facteurs sont généraux et montrent que la réussite scolaire est déterminée par des expériences éducatives de qualité dont les interactions positives entre enseignant et élèves sont un composant essentiel, indépendamment des disciplines. C'est d'ailleurs un postulat essentiel du *Classroom Assessment Scoring System (CLASS*⁵, Pianta *et al.*, 2008) que de pouvoir identifier des facteurs d'efficacité indépendants des disciplines enseignées. Les résultats des nombreuses observations qui évaluent la qualité des interactions enseignants-élèves avec le *CLASS* dans les trois domaines cruciaux que sont le soutien émotionnel, l'organisation de la classe et le soutien pédagogique, attestent de la récurrence des facteurs d'efficacité quelle que soit la discipline observée (Hamre *et al.*, 2013 ; Perlman *et al.*, 2016). Parmi ces facteurs, liés au climat de classe, aux interactions en classe, à l'activité des élèves et à la structuration de l'enseignement, nous présentons ceux pertinents pour notre dispositif : l'effet des rétroactions pour soutenir les apprentissages, la place de l'explicitation dans la facilitation des apprentissages et les opportunités d'apprendre liées au temps d'apprentissage.

Les rétroactions

Les rétroactions, également appelées *feed-back*, sont une pratique enseignante parmi les plus déterminantes de la réussite (voir Hattie & Timperley, 2007 pour une revue complète ; Muijs *et al.*, 2014). Elles concernent le retour fait à l'élève, le plus souvent par l'enseignant (mais ce peut être par un pair, un livre, un ordinateur, etc.), pour le renseigner sur l'écart entre sa performance ou sa compréhension, et ce qui est attendu et de lui ; elles fournissent en outre

⁵ Système d'évaluation de la qualité des interactions en classe.

des étayages pour atteindre le but visé (Hattie & Timperley, 2007). Les rétroactions produisent en moyenne un effet d'ampleur élevé $d=0,79$.

La revue de Hattie & Timperley (2007) reprend les résultats de douze méta-analyses qui ont porté sur 196 études et 6972 tailles d'effets. Leur revue indique que les rétroactions ne produisent pas toutes les mêmes effets selon les circonstances et leurs caractéristiques. Par exemple, les rétroactions qui délivrent des indices, comme donner des pistes de recherche ou des stratégies pour avancer (3 méta-analyses, 129 effets) produisent des effets très forts $d=1.10$ tandis que celles qui fournissent des éloges ont un effet de très faible $d=0.14$ (11 méta-analyses, 138 effets). Hattie et Timperley proposent quatre niveaux de rétroactions : sur la tâche (*task*), les traitements (*processus*), la régulation (*regulation*) et sur la personne de l'élève (*self*). Les rétroactions sur la personne sont les moins efficaces tandis que celles qui portent sur la tâche sont les plus efficaces si elles sont associées à des commentaires qui permettent de comprendre quelles sont les stratégies à mettre en œuvre pour atteindre le but visé (Hattie & Timperley, 2007).

Le climat de classe est déterminant de la qualité des interactions en classe, notamment concernant l'accueil des erreurs : si la dimension évaluative est trop importante, éviter de prendre le risque de se tromper publiquement devient une stratégie privilégiée en cas de doute. Ce sont alors seulement les élèves qui savent déjà qui osent répondre (Hattie & Timperley, 2007). Ce type de climat gêne le repérage des incompréhensions et empêche, de fait, de leur apporter la remédiation nécessaire, tandis qu'un climat où les erreurs sont accueillies favorablement favorise les apprentissages (Hattie & Timperley, 2007). Les classes qui performant bien sont celles où les corrections sont affectivement neutres et les erreurs, considérées comme l'expression normale d'une forme de connaissance qui doit être une source de progrès, sont accompagnées de rétroactions pour les corriger (Bressoux, 1994). Ce sont aussi celles où les enseignants posent beaucoup de questions et discutent des réponses en impliquant tous les élèves, par des moyens pédagogiques variés, comme indiquer la réponse à son voisin, répondre sur son ardoise (Rosenshine, 2012).

Les approches explicites guidées

Les effets d'ampleur des approches instructionnistes qui s'appuient sur l'explicitation, la structuration et le guidage varient de $d=0,41$ à $d=1,54$ (Bissonnette *et al.*, 2010). Le principe de ces démarches est de rendre visible ce qui est enseigné en explicitant aussi bien les objectifs, les prérequis, les stratégies et les concepts, en apportant le guidage nécessaire aux novices face à la nouveauté. Ces préconisations se fondent sur la connaissance de l'architecture cognitive humaine et notamment l'importance du rôle de la mémoire de travail⁶ et ses importantes limites en termes de temps de conservation de l'information et capacité de traitement (Baddeley, 1992). Ainsi, en début d'apprentissage, les élèves doivent faire face à un flux important d'informations nouvelles qui peut surcharger leurs capacités mémorielles et nuire à leurs apprentissages. Le guidage et l'explicitation permettent d'une part de limiter les ressources mémorielles nécessaires pour apprendre, mais également d'éviter que les élèves ne construisent des conceptions erronées ou connaissances incomplètes (Kirschner *et al.*, 2006). C'est donc quand ils sont les plus novices que les apprenants ont besoin de guidage, pour éviter que leur mémoire de travail ne soit en surcharge. Le guidage va diminuant à mesure que l'expertise de l'apprenant augmente (Sweller *et al.*, 2019).

Les interactions doivent être fréquentes pour guider l'apprentissage (Reynolds & Muijs, 1999). Au contraire d'un schéma de cours passif consistant en un exposé des contenus suivi d'un temps d'exercices, l'enseignement doit s'appuyer sur de constants allers-retours entre élèves et enseignants, en classe entière. Pour cela, l'enseignant pose de très nombreuses questions à ses élèves afin de s'assurer de leur niveau de compréhension avant d'aborder un travail individuel et n'hésite pas à enseigner à nouveau le contenu si le niveau de compréhension des élèves est insuffisant pour le travail individuel (Reynolds & Muijs, 1999).

⁶ Une section dédiée présentera plus en détail les éléments relatifs au rôle de la mémoire dans la construction des apprentissages

Les opportunités d'apprendre

Temps d'apprentissage et opportunité d'apprendre sont les résultats les plus fréquemment produits concernant l'efficacité sur les apprentissages (Muijs, *et al.*, 2014 ; Reynolds *et al.*, 2014 ; Talbot, 2012). Il s'agit notamment, concernant la couverture du curriculum, de s'assurer de l'adéquation entre ce que les enseignants souhaitent enseigner à leurs élèves et ce qu'ils leur enseignent (Muijs *et al.*, 2014). Lors de nouvelles acquisitions, les élèves ont besoin de temps pour faire passer leurs connaissances en mémoire à long terme, qui permettra qu'elles soient mobilisées de façon plus fluide.

Le temps d'engagement dans la tâche (*Academic Engaged Time*) est une mesure qui correspond au temps accordé à une activité auquel est soustrait le temps hors tâche. Le temps d'engagement dans la tâche détermine partiellement la quantité d'apprentissage, qui est également fonction du taux de réussite de l'élève déterminé par l'adéquation entre la tâche et le niveau de connaissance de l'élève (Fisher *et al.*, 2015). Trois grands niveaux de réussite sont identifiés : faible réussite quand l'élève ne comprend pas et délivre des réponses fausses ou aléatoirement justes ; réussite moyenne quand l'élève produit des réponses correctes, mais également des réponses fausses du fait de sa maîtrise incorrecte du concept travaillé ; réussite élevée quand l'élève produit un grand nombre de réponses correctes, témoignant de sa maîtrise. Le temps d'apprentissage académique (*Academic Learning Time*) correspond au temps que d'engagement dans une tâche, réalisée avec succès. Plus le temps d'apprentissage académique est important, meilleur est l'apprentissage.

2. Pratiques d'enseignement efficaces en mathématiques

Nous nous intéressons ici aux pratiques spécifiquement pertinentes pour les mathématiques. Pour cela nous nous appuyons notamment sur la revue de littérature consacrée à l'enseignement efficace en mathématiques de Reynolds et Muijs (1999) ; le chapitre sur les mathématiques de Grouws & Cebulla, (2000) paru dans *Handbook of Research on Improving Student Achievement*, publié par l'*Educational Research Service* (ERS) ; la synthèse de Slavin et Lake (2008) sur l'efficacité des programmes d'amélioration des mathématiques au primaire et la synthèse de Hodgen *et al.* (2018), commanditée par l'*Education Endowment Foundation* (EEF) qui synthétise les meilleurs résultats probants pour enseigner les mathématiques, à partir des méta-analyses et revues produites à l'international.

A. Outils au service des mathématiques

Les représentations

Le caractère abstrait des objets mathématiques rend « absolument nécessaire » (p.38) le recours aux représentations pour les étudier (Duval, 1993). Le langage naturel, les graphiques, l'écriture algébrique ou encore les figures géométriques sont autant de registres de représentation disponibles pour traiter un objet mathématique. La représentation d'un objet mathématique autorise la réalisation de traitements (des raisonnements, des calculs), dont certains ne sont pas disponibles dans tous les registres de représentations. C'est pourquoi les registres de représentations sont complémentaires pour traiter un objet mathématique.

Il est crucial que les élèves sachent distinguer l'objet mathématique abstrait étudié de sa représentation, afin d'être en mesure d'utiliser les connaissances liées à l'objet mathématique dans une variété de registres plutôt que dans l'unique registre où il est initialement représenté (Duval, 1993). Ainsi, l'usage de plusieurs types de représentation (objets physiques, diagrammes, écritures symboliques, langage oral) est nécessaire pour soutenir la compréhension de l'objet mathématique (Duval, 1993 ; 1999 ; 2000 ; 2006 ; Hodgen *et al.*, 2018). Duval (2007) indique à ce propos : « Il n'y a pas de compréhension en mathématiques sans la capacité de changer de type représentation » (p.17). Il est donc nécessaire, de travailler un même objet mathématique sous différents registres de représentation, mais également d'être capable de passer d'un registre à un autre pour un même objet pour accéder à sa compréhension profonde.

L'enseignement des mathématiques s'organise généralement comme si le passage d'un registre à un autre était spontané (Duval, 1993). Or c'est un point très délicat que la conversion de registre, qui doit être minutieusement accompagnée pour que les apprenants développent une compréhension conceptuelle solide des objets mathématiques. Cet accompagnement passe notamment par la comparaison systématique des effets produits par une même variation dans deux registres différents et la discussion autour des différentes représentations d'un même concept mathématique (Duval, 1993).

Selon Hodgen *et al.* (2018), bien qu'il y ait peu de preuves concernant l'utilisation des représentations sur les apprentissages (seulement 2 méta-analyses qui ne font pas apparaître d'effets), le recours aux représentations multiples peut exercer une lourde charge cognitive et

entraver l'apprentissage. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour éclairer les choix des enseignants quant aux représentations à utiliser et le moment où les utiliser.

La manipulation

Recommandée depuis 1990 par le *National Council of Teachers of Mathematics*, et par le CNECSCO en France, dans la conférence de consensus à propos des nombres et opérations (2015), la manipulation mathématique concerne les approches qui donnent aux élèves des occasions d'interagir avec des objets pour apprendre les mathématiques (Carbonneau *et al.*, 2013). Elle occupe une place importante dans les théories constructivistes et constructionnistes (abordées plus en détail dans le chapitre suivant), car elle permettrait d'accéder aux concepts abstraits par des actions menées sur des objets plus concrets.

Pour certains, c'est une façon puissante d'engager les élèves dans la compréhension des idées mathématiques, à la condition que les enseignants aident les élèves à faire le lien entre les manipulations et les concepts mathématiques et leurs traitements (CNECSCO, 2015 ; Hodgen *et al.* 2018). Elle doit permettre de progressivement atteindre l'abstraction. Par exemple, les bandes numériques peuvent aider les élèves à accéder à une meilleure connaissance des nombres dans un premier temps, puis l'élève peut représenter cette bande lui-même quand il en a besoin pour finalement avoir les connaissances numériques liées à l'ordre des nombres en tête.

La manipulation est étroitement liée à la représentation. Elle peut être concrète s'il s'agit de manipuler des objets physiques (billes, boîtes, etc.), ou virtuelle si ces mêmes objets sont affichés numériquement et manipulables par la souris et/ou le clavier de l'ordinateur. La manipulation est directe, quand l'action porte directement sur l'objet. Elle est indirecte quand l'élève n'a pas directement accès à l'objet et le manipule par le biais d'instructions, comme c'est le cas par exemple lors de la programmation, c'est alors l'exécution de l'instruction qui conduit à la manipulation sur l'objet cible.

Les effets de la manipulation sont mitigés ; certains modérateurs montrent que l'efficacité du matériel de manipulation dépend d'autres variables pédagogiques. Ainsi, l'utilisation de la manipulation, en comparaison d'un enseignement uniquement symbolique abstrait, présente des effets plus importants sur les apprenants de 7 à 11 ans ($d=0,45$) que sur les apprenants plus jeunes, âgés de 3 à 7 ans ($d=0,33$), ou plus âgés ($d=0,16$) comme le montre la méta-analyse de Carbonneau *et al.* (2013). La richesse perceptive (*perceptual richness*) du matériel, c'est-à-dire

les détails superficiels qu'il présente, peut distraire les élèves de leurs apprentissages et conduire à de moins bonnes performances ($d=0,28$ contre $d=0,77$ pour le matériel ne présentant pas cette caractéristique), mais cela ne se retrouve pas systématiquement. Un haut niveau de guidage, par exemple pour pointer explicitement les informations pertinentes à sélectionner dans le matériel pour raisonner, est associé à de meilleures performances ($d=0,90$) qu'un faible niveau de guidage ($d=0,19$), notamment en rétention des savoirs et en résolution de problèmes. L'effet de la manipulation diffère selon que la tâche d'évaluation porte sur la rétention des savoirs acquis (effet de taille modérée à grande) ou sur des tâches de plus haut niveau comme la résolution de problème ou le transfert d'apprentissage (effets faibles). Nous notons cependant que la méta-analyse de Carbonneau *et al.* (2013) dont sont issus ces résultats, portait sur plus de 55 études sélectionnées pour leur rigueur expérimentale du niveau de maternelle au collège, mais seulement 16 étaient ultérieures aux années 2000, 6 portaient sur le 4^e ou 5^e grade (CM1 ou CM2) et la manipulation virtuelle était un critère d'exclusion.

La découverte par résolution de problèmes

Les méthodes d'apprentissage par la découverte ou l'investigation (*inquiry-based learning*) consistent à proposer aux élèves de résoudre des situations problèmes « authentiques », les amenant à construire leurs propres solutions, ce qui les conduirait à un meilleur apprentissage. De plus, apprendre une discipline en se mettant dans les conditions de construction des connaissances de cette discipline favoriserait les apprentissages. Il s'agit d'une perspective épistémologique où l'apprentissage d'une discipline réalisée « à la manière » des scientifiques, par investigation, serait la meilleure façon d'accéder à sa connaissance. L'hypothèse sous-jacente est que les élèves apprennent mieux s'ils sont actifs, elle trouve ses origines dans le constructivisme piagétien (1968) et accorde historiquement plus d'importance à l'autonomie et moins au guidage.

En France depuis 2002, comme dans de nombreux pays (Bächtold, 2012), les instructions officielles de l'école primaire soutiennent les « démarches d'investigation ». La découverte par résolution de problèmes doit permettre aux élèves d'élaborer leurs propres méthodes de résolution, sans que celles-ci leur aient été enseignées. Cette modalité d'apprentissage peut être motivante parce qu'elle permet aux élèves d'exercer leur autonomie et s'appuie sur des situations authentiques, en lien avec des situations réelles connues des apprenants, qui donnent du sens aux concepts mathématiques abstraits travaillés (Reynolds & Muijs, 1999 ; Vause *et al.*, 2010).

Cependant, l'exploration mathématique peut générer une lourde charge cognitive qui empêche l'apprentissage (Hodgen *et al.* 2018). Ainsi, certains auteurs soutiennent que les approches impliquant un guidage minimal sont moins efficaces que l'enseignement explicite, auprès des novices, car elles ne tiennent pas compte des limites de la mémoire de travail et attendent des apprenants qu'ils se comportent comme des experts alors qu'ils ne disposent pas d'une banque de connaissances suffisante (Kirschner *et al.*, 2006). Pour cette raison, l'apprentissage par la découverte ne bénéficie pas aux élèves en difficulté qui ont besoin de structuration, là où les bons élèves excellent ; et les bénéfices que retirent les bons élèves des pratiques de découverte sont moins importants que ceux que retirent les élèves plus faibles d'approches structurées (Vause *et al.*, 2010).

Pour conserver l'aspect motivationnel des activités d'apprentissage par la résolution de problèmes, il est recommandé de les utiliser en les complétant par davantage de guidage incluant par exemple des temps d'enseignement explicite (Hembree, 1992 ; Hodgen *et al.* 2018) notamment concernant l'enseignement des stratégies cognitives de la résolution de problèmes (Reynolds & Muijs, 1999).

Les outils numériques

Les outils technologiques peuvent être utiles pour l'apprentissage des mathématiques, sur lequel ils produisent un effet moyen intéressant au primaire ($d=0,47$). Néanmoins, cet effet dépend avant tout de ce que les enseignants en font (Hogden *et al.*, 2018). Hogden *et al.* (2018) insistent cependant sur le faible le niveau de preuve de ces effets. Leur interprétation demeure hasardeuse, d'abord parce que les technologies ont considérablement évolué au cours de la période considérée de leur synthèse (1967 à 2016) mais également parce que les effets présentés sont des effets moyens, qui englobent une très grande variété d'outils (allant par exemple des logiciels de géométrie dynamique aux jeux éducatifs en passant par les systèmes de tutorats intelligents) et ne rendent pas compte des effets spécifiques de ces différentes technologies, qui présentent une grande variabilité au sein de cette large palette. La section suivante apporte de plus amples informations quant aux pratiques numériques afin de mieux saisir les enjeux et effets de celles-ci.

B. Des gestes d'enseignements qui ne sont pas spécifiques aux mathématiques

Concernant les pratiques elles-mêmes, l'étude de notre corpus nous amène à conclure que les gestes efficaces en mathématiques ne sont pas proprement spécifiques aux mathématiques. Ceci s'explique, selon nous, par deux raisons principales. La première, évoquée précédemment : les gestes efficaces sont liés à des facteurs indépendants de la discipline, comme le montre le *CLASS* (Hamre *et al.*, 2013 ; Perlman *et al.*, 2016). Ce que confirment Slavin & Lake (2015) qui soulignent dans leur synthèse que la clé de l'amélioration des résultats en mathématiques concerne la façon dont les enseignants et les élèves interagissent en classe. Ils indiquent que les programmes efficaces ne sont pas ceux liés spécifiquement aux mathématiques, mais ceux qui accordent de l'importance aux processus d'enseignement, comme l'utilisation efficace du temps, le maintien de l'engagement productif des enfants, les possibilités et incitations offertes aux élèves de s'entraider.

La seconde raison concerne le fait que la majorité des recherches sur l'efficacité de l'enseignement prend pour variables dépendantes les acquisitions en mathématiques ainsi que la langue maternelle, en lecture et en écriture. En conséquence, il est cohérent de retrouver les mêmes facteurs d'efficacité dans les recherches sur les pratiques efficaces « sans distinction de discipline » et dans celles qui ciblent les mathématiques.

Des effets d'ampleur plus importante

Pour autant, si les facteurs d'efficacité sont indépendants des disciplines, leur ampleur, elle, varie selon les disciplines. L'effet-classe est souvent plus important dans les disciplines scientifiques (avec une variance des acquisitions des élèves expliquée qui peut atteindre 20%) en comparaison des enseignements liés à la langue maternelle. Cette différence s'explique principalement parce que les apprentissages scientifiques relèvent essentiellement d'un enseignement formel scolaire contrairement à l'apprentissage de la langue maternelle, également fruit d'interactions sociales en dehors de l'école (Reynolds *et al.*, 2014).

Confirmation des résultats généraux

L'effet-enseignant en mathématiques présente peu de liens entre les caractéristiques des enseignants et la réussite des élèves. Ainsi, dans leur rapport s'appuyant sur les résultats des différentes comparaisons internationales en mathématiques (TIMSS, PIRLS, ICCS et ICILS), Burroughs *et al.* (2019) ont relevé que les effets de l'ancienneté ainsi que des connaissances professionnelles de l'enseignant (sur le sujet, les programmes et la pédagogie) sur la réussite des élèves ne sont pas conclusives.

Le climat de classe joue un rôle important dans la réussite en mathématiques (Reynolds & Muijs, 1999 ; Vause *et al.*, 2010). Le climat dépend de de la gestion de classe, de la qualité des instructions délivrées aux élèves, des interactions entre et avec eux, ainsi que des attentes de l'enseignant ; il influence le temps d'apprentissage réel des élèves (Vause *et al.*, 2010).

Les interactions favorisent le repérage des idées fausses (*misconceptions*) qui doivent être considérées comme des tentatives de donner du sens aux apprentissages. Plutôt que de considérer les idées fausses comme des éléments négatifs à éliminer, il est profitable de s'appuyer sur la discussion mathématique pour comprendre où le raisonnement erroné s'est installé et le reconstruire (Hodgen *et al.*, 2018). L'effet des interactions est plus important sur les apprentissages mathématiques ($d=0,14$) comparativement à ceux produits dans les autres disciplines ($d=0,06$) en moyenne, mais demeure assez faible (Scheerens *et al.* 2007, cités par Hogden *et al.*, 2018). Par ailleurs, il convient de poser davantage de questions sur les processus (dont les réponses appellent des explications) plutôt que des questions pour lesquelles les réponses attendues sont des résultats, qui sont pourtant les plus souvent observées en classe (Reynolds & Muijs, 1999). Selon Grouws & Cebulla (2000) l'accent doit être mis sur le sens des abstractions mathématiques afin de faciliter les apprentissages initiaux et améliorer les probabilités d'utiliser ces connaissances initiales dans des situations nouvelles. Les auteurs précisent que la construction du sens passe par l'explicitation élaborée des idées mathématiques (au-delà de la simple réponse à une question), la façon dont elles sont reliées à d'autres idées mathématiques et la mise en relation de ces idées aux connaissances et expériences des élèves. Enfin, il est plus efficace d'accorder une forte proportion de discussion en classe entière plutôt que de multiples temps de discussions individualisées (Reynolds & Muijs, 1999).

3. Pratiques numériques... de quoi parle-t-on ?

A. Éléments de contextualisation

Le développement du « numérique » ou des « nouvelles technologies éducatives » à l'école a donné, et donne encore lieu, à de nombreuses publications d'organismes internationaux comme celles de l'OCDE (2010 ; 2015) ou de la commission européenne (Bocconi *et al.*, 2016 ; Conrads *et al.*, 2017 ; European Commission, 2019). La multiplication de ces rapports atteste que l'équipement et la formation aux usages des technologies sont des enjeux majeurs des politiques éducatives dans de nombreux pays. Trois grandes raisons expliquent cette course à l'équipement et à la formation (OECD, 2010).

La première concerne la nécessité de former les élèves à l'utilisation de technologies de plus en plus présentes dans tous les pans de la société : citoyen, professionnel, personnel. Si les chiffres montrent que les familles sont globalement assez bien équipées, une fracture des usages numériques est cependant mise en évidence (OECD, 2015). Les élèves défavorisés font en moyenne une utilisation restreinte des fonctionnalités éducatives du numérique dans leurs usages privés et acquièrent de fait peu de compétences utiles pour leur carrière académique et leur insertion citoyenne et professionnelle dans la société. Par ailleurs, la réussite dans les compétences traditionnelles est corrélée à la réussite dans les compétences numériques, mais ces dernières présentent un niveau de complexité supplémentaire par rapport aux compétences traditionnelles. Par exemple, la lecture d'un texte électronique nécessite en sus des compétences de lecture de texte traditionnelles, la capacité de naviguer dans le texte, choisir ses sources, etc. La maîtrise de ces compétences, et avant tout celles liées à la navigation, favorise la lecture numérique qui reste très largement prédite par les capacités en lecture traditionnelles (OECD, 2015).

La deuxième raison du développement des technologies éducatives concerne l'obligation que se sont donnée les systèmes éducatifs de combler la fracture d'équipement numérique en proposant, *via* les établissements, l'accès aux technologies à tous les élèves. La fracture d'équipement est largement comblée dans la majeure partie des pays de l'OCDE, notamment en France où 99% des familles sont équipées d'au moins un ordinateur en 2012 et 45% en ont au moins trois (OECD, 2015). Notons cependant de grandes disparités entre les établissements. Le rapport du CNET (Mons *et al.*, 2020) indique que les lycées généraux et technologiques ainsi que les collèges sont bien équipés et mettent à disposition des élèves un poste pour

respectivement 3,4 et 4,5 élèves en moyenne. Les écoles primaires sont en revanche sous-dotées comparativement au secondaire et n'offrent un poste que pour 12,5 élèves en moyenne. Derrière ces écarts se cache une grande variabilité de situations. Les écoles des communes rurales et urbaines favorisées sont dans l'ensemble bien mieux pourvues que les communes urbaines défavorisées qui peinent à combler le manque d'équipement des familles. Ces disparités peuvent avoir un effet sur les pratiques des enseignants en classe car sans parc informatique suffisant, les usages ne peuvent s'exercer. C'est pourquoi à ce jour, la pratique du numérique n'est pas établie dans les classes au quotidien, bien qu'elle ait tendance à se développer progressivement (Mons *et al.*, 2020).

La troisième raison du développement des technologies éducatives est portée par l'hypothèse que leur utilisation en classe favoriserait les apprentissages. Cette hypothèse a connu une diffusion rapide dans la société, mais demande à être davantage étayée empiriquement (Galand, 2020 ; Livingstone, 2012). Elle est soutenue, entre autres, par la croyance que les « *digital natives* » ou « *Homo Zappiens* », c'est-à-dire les individus nés dans une époque où le numérique est extrêmement répandu jusque dans les sphères privées de la société, possèderaient des compétences nouvelles. Les *digital natives* auraient acquis de leur expérience numérique quotidienne des compétences leur permettant d'apprendre en jouant avec les technologies, notamment pour résoudre des problèmes, desquelles l'éducation pourrait tirer parti (Veen, 2007). Pour autant, Kirschner et van Merriënboer (2013) indiquent dans leur analyse à propos des légendes urbaines en éducation que la théorie des *digital natives* ne bénéficie pas de preuves empiriques solides. Rien n'atteste que les jeunes apprenants ont développé les compétences de haut niveau numériques supposées ; de plus lorsque certains d'entre eux ont acquis des compétences grâce à leur pratique personnelle, celles-ci se limitent aux fonctionnalités de base comme l'usage de la messagerie ou la navigation sur les réseaux sociaux. Ainsi, si des compétences de haut niveau numérique sont utiles pour apprendre, elles doivent être enseignées (Kirschner & van Merriënboer, 2013). La question de l'apprentissage avec les technologies est complexe, nous allons l'explorer plus en détail dans les paragraphes suivants.

B. Effets des pratiques numériques

De nombreux gouvernements, dont celui de la France, ont pris à bras-le-corps la question des technologies pour améliorer les apprentissages (Livingstone, 2012 ; Ting, 2005). En France, dès 1978 le plan « dix-mille micro-ordinateurs » est le premier plan d'ampleur d'une longue série qui vise à équiper et former les acteurs des établissements à ces nouvelles pratiques. Le « Plan numérique pour l'éducation » en 2015 est le dernier en date et doit permettre de répondre aux objectifs visés : former des citoyens familiers du numérique et améliorer les apprentissages des disciplines par l'usage du numérique. C'est ce dernier objectif qui nous intéresse et pour lequel nous allons apporter une synthèse des connaissances.

Des effets globalement positifs masquant une grande variabilité

Les technologies de l'information et la communication sont largement perçues comme améliorant les apprentissages, aussi bien par les élèves, les parents, les enseignants que les décideurs politiques. Si les preuves empiriques attestent d'un effet moyen positif, elles révèlent surtout une grande variabilité de ceux-ci (Livingstone, 2012 ; Tricot, 2020).

Ainsi, le rapport de Tricot (2020) pour le CNESCO sur l'analyse des fonctions pédagogiques du numérique dans le cadre de l'enseignement a porté sur plus de 300 références dont 50 méta-analyses. Ce rapport ne présente pas de calcul d'un effet moyen du numérique mais il confirme cependant un effet global positif modeste à travers l'étude de ces effets triés par fonction pédagogique, comme par exemple « résoudre des problèmes et calculer » (p.26) ou encore « programmer » (p.58). Nous reviendrons sur les effets de la programmation dans un chapitre ultérieur. Pour ce qui nous intéresse à présent, notons que ce rapport révèle une importante variabilité des effets, qui s'explique selon Tricot (2020) par le fait que de nombreux facteurs participent à l'amélioration des apprentissages lorsqu'on évalue l'effet du numérique, dont l'adéquation de l'outil sélectionné à la tâche, le temps disponible, l'équipement de la classe, l'accessibilité de l'outil et la maîtrise qu'en a l'enseignant. Celui-ci doit être formé et guidé pour tirer profit de la situation d'apprentissage s'appuyant sur une technologie. Il serait illusoire d'attendre une amélioration des apprentissages par la seule exposition à telle ou telle autre technologie (Tricot, 2020). C'est également ce qui ressort du rapport de Boylan *et al.* (2018) à propos de l'utilisation de la programmation pour apprendre des mathématiques : exposer les élèves à la programmation ne produit pas de répercussion automatique sur leurs apprentissages ; ce sont les médiations de l'enseignant qui vont être déterminantes dans

l'efficacité de l'intervention, notamment par le soutien et les rétroactions qu'il procure à ses élèves.

La méta-analyse de Li & Ma (2010) porte spécifiquement sur les effets du numérique sur les apprentissages mathématiques de la maternelle à la terminale. Les types de numérique ici étudiés concernent (a) les tutoriels (enseignement assisté par ordinateur par exemple), (b) les moyens de communication (messagerie ou tout autre outils permettant le partage efficace d'informations), (c) les environnements d'exploration (qui encouragent l'apprentissage actif par la découverte), et (d) les outils (traitements de texte et tableurs, par exemple, à l'exclusion des calculatrices). La synthèse portait sur des études quantitatives publiées de 1990 à 2006 et recense plus de 85 effets significatifs (46 en école élémentaire) dont l'effet moyen est de $d=0,28$ (intervalle de confiance à 95% compris entre 0,13 et 0,43). Cette méta-analyse indique globalement un effet significatif positif du numérique sur les apprentissages mathématiques, bien que les tailles d'effet recensées varient entre -0,66 ET (écart-type) et 3,76 ET, dont sept études qui présentaient des effets négatifs. Le but de cette méta-analyse était de recenser les facteurs qui contribuent à l'efficacité de l'utilisation des technologies. Elle a ainsi montré que l'utilisation des technologies est plus efficace à destination d'élèves à besoins particuliers (+1,02 ET en comparaison aux élèves n'ayant pas ces besoins), avec une approche constructiviste (+0,79 ET en comparaison de l'approche traditionnelle) et dans le primaire (+0,22 ET en comparaison au secondaire). Un autre résultat intéressant indique que le type de technologie n'a pas d'effet différentiel sur les résultats en mathématiques.

La revue critique des méta-analyses à propos de l'efficacité du numérique sur les acquisitions en mathématiques de Leroux *et al.* (2017) confirme un effet moyen significatif positif plutôt modeste (entre d compris entre 0,3 et 0,4) qui semble consistant au cours du temps en dépit des évolutions rapides qu'ont connu les technologies (entre 1990 et 2012 pour la méta-analyse de Higgins *et al.*, 2012, par exemple). A nouveau, les auteurs observent une grande variabilité des effets moyens présentés par les méta-analyses (effet maximum de +0,16 pour la méta-analyse de Cheung & Slavin, 2013 et de +0,52 pour celle de Sung *et al.*, 2016) ainsi qu'entre les études couvertes par celles-ci (effets compris entre -0,03 et +1,05 pour la méta-analyse de Higgins *et al.*, 2012, par exemple). A la lumière de cette grande variabilité des résultats, les auteurs s'intéressent à leur tour aux facteurs qui les modèrent, tant pour repérer les usages efficaces que les biais méthodologiques. Ils invitent à la prudence quant à l'interprétation des résultats, les études couvrant des réalités très diverses.

La méta-analyse de Cheung et Slavin (2013) s'intéresse aux effets des nouvelles technologies sur l'amélioration des compétences en mathématiques avec un focus particulier sur les effets de ces pratiques sur les inégalités de réussite. En effet, les élèves les plus sociologiquement défavorisés aux Etats-Unis réussissent beaucoup moins bien que leurs camarades favorisés. Une réponse des décideurs politiques pour améliorer les apprentissages mathématiques et réduire les inégalités a été d'introduire l'utilisation de nouvelles technologies dans l'apprentissage des mathématiques. Les auteurs se sont interrogés sur la grande variabilité des résultats des études s'intéressant aux effets de l'utilisation des technologies sur la réussite en mathématiques, qui varient de $d=0,10$ à $d=0,62$ pour un effet d'ampleur global d de 0,31. Ils ont fait apparaître de nombreuses faiblesses méthodologiques qui biaisent les résultats et délivrent des effets beaucoup plus élevés que ne le feraient des études présentant une méthodologie rigoureuse.

Un premier volet du travail de ces auteurs a consisté en la mise en lumière des faiblesses méthodologiques récurrentes au sein des études qui traitent cette question. Un deuxième volet a été le réexamen de cette littérature en appliquant les critères d'inclusion liés à la présence des critères méthodologiques rigoureux mis en avant dans le premier volet (présentés dans les sections suivantes). Leur analyse finale a ainsi porté sur 74 études s'intéressant aux effets de trois types de technologies différentes : 10 études sur l'apprentissage géré par ordinateur (*Computer-Managed Learning*), 9 sur l'utilisation de modèles mixtes (*Comprehensive Models*, intégrant des activités assistées par ordinateurs et des activités ordinaires) et 55 études sur l'enseignement assisté par ordinateur individualisé (*Supplemental computer-assisted instruction technology*). Les études retenues ont à nouveau montré une importante variabilité des résultats, dont l'effet moyen calculé est de $d=0,16$. Ils ont fait apparaître une supériorité de l'effet de l'enseignement assisté par ordinateur individualisé ($d=0,19$) contre l'apprentissage géré par ordinateur ($d=0,09$) et l'utilisation de modèles mixtes ($d=0,06$).

La variabilité des résultats de ces études empêche de tirer des conclusions fiables et généralisables de l'effet du numérique sur les acquisitions (Leroux *et al.*, 2017 ; Livingstone, 2012 ; Tricot, 2020). Afin de mieux comprendre ce qui affecte cette variabilité, la plupart de ces recherches ont signalé de biais méthodologiques et facteurs modérateurs qui peuvent les expliquer. Ces biais et facteurs sont détaillés dans les deux sections suivantes.

Des biais méthodologiques

Une part de la variabilité des résultats s'explique par la présence de failles méthodologiques qui majorent les résultats (Cheung et Slavin, 2013 ; 2016 ; Tamim *et al.*, 2011). Par exemple, Cheung et Slavin (2013) ont indiqué que les études portant sur les effets du numérique sur les acquisitions mathématiques présentaient un effet d'ampleur global d de 0,31 (variant de $d=0,10$ à $d=0,62$). L'examen de ces études fait ressortir un certain nombre de biais méthodologiques, connus pour gonfler les effets dont :

- **L'absence de groupe contrôle**, qui rend impossible de comparer l'efficacité de la pratique expérimentée par rapport à une autre pratique ;
- **L'absence de prétests**, qui empêche d'évaluer si les groupes sont comparables avant expérimentation ;
- **Le *cherry-picking evidence***, c'est-à-dire le fait d'écarter les observations qui feraient chuter les effets, au prétexte fallacieux que ces observations seraient atypiques.
- **La durée d'intervention**, lorsqu'elle est inférieure à douze semaines, peut être facteur de biais. Certaines études courtes peuvent créer un effet plus importants du fait de l'effet de nouveauté (*novelty effect*) qui s'émousse avec le temps.

Afin de ne s'appuyer que sur les études rigoureuses, Cheung et Slavin (2013) ont conduit leur méta-analyse en incluant uniquement les études qui ne présentaient pas ces biais. Ils ont ajouté d'autres critères d'inclusion concernant la langue du rapport (qui devait être en anglais), l'impératif d'aléatorisation des groupes, la conception des tests (qui devait reposer sur des évaluations standardisées ou au moins ne pas être calée sur le groupe expérimental), la réplicabilité des interventions (qui doivent pouvoir se réaliser dans des classes ordinaires sans requérir des aides supplémentaires trop importantes) et l'organisation des enseignements (le groupe d'intervention devait contenir au moins deux enseignants pour ne pas confondre l'effet de l'intervention avec l'effet-enseignant). A partir des 700 études retrouvées avant l'application des filtres, 74 ont été retenues (45 portant sur le premier degré d'enseignement, 29 sur le second degré). Ces études présentent un effet moyen de 0,16, bien plus modeste que le 0,31 des méta-analyses précédentes.

Enfin, bien qu'on ne puisse considérer qu'il s'agisse d'un biais méthodologique, l'année de publication doit également être prise en considération pour mieux interpréter les effets d'une étude. Cette caractéristique a été étudiée dans les travaux de Li & Ma (2010) qui ont trouvé un effet modérateur de +0,32 ET en faveur des études publiées avant 1999 en comparaison à celles publiées après 1999. Il est d'autant plus pertinent de tenir compte de l'année de publication des études pour considérer leurs résultats que celles publiées dans les années 1980 portent souvent sur des technologies qui n'ont plus cours de nos jours (Leroux *et al.*, 2017).

Des modérateurs liés aux caractéristiques méthodologiques

La méga-analyse de Cheung & Slavin (2016) s'est intéressée aux caractéristiques méthodologiques qui affectent les tailles d'effets à partir de 645 études qui présentaient des critères méthodologiques stricts, issues de 12 revues utilisées pour la BEE, réalisées entre 2008 et 2015 ciblant les effets du numériques sur les acquisitions (en mathématiques, sciences et lecture). Ils ont fait apparaître quatre caractéristiques méthodologiques qui ont un impact fort et significatif sur la taille de l'effet, développés ci-après.

- Les mesures alignées sur l'intervention

Ce sont les mesures qui prennent pour variables dépendantes les évaluations des compétences développées dans le groupe expérimental uniquement. Slavin et Madden (2011, cités par Cheung et Slavin, 2016) se sont intéressés aux études qui utilisent des mesures alignées sur le traitement ainsi que des mesures qui n'étaient pas inhérentes au traitement (comme des évaluations standards). Ils ont utilisé les mesures non alignées sur le traitement, en les prenant comme variables dépendantes, pour recalculer les effets présentés par les études. Ces calculs ont fait chuter la taille d'effet moyen de +0,45 à -0,03 pour sept études en mathématiques acceptées par le *What Works Clearinghouse* (WWC). La même tendance s'est observée pour dix études de lecture en classe élémentaire acceptées par le WWC, avec des tailles d'effet moyen qui sont passées de +0,51 (quand la variable dépendante est la mesure alignée sur le traitement), à +0,06 (quand celle-ci ne l'est pas). Cheung et Slavin (2016) ont exclu de leur méga-analyse les mesures de performances élaborées par les chercheurs qui étaient alignées sur l'intervention. Pourtant, ils observent une différence significative des tailles d'effets selon que les tests sont élaborés par les expérimentateurs (+0,40) ou qu'ils sont indépendants des expérimentateurs (+0,20).

- La taille de l'échantillon.

Slavin & Smith (2009, cités par Cheung et Slavin, 2016) ont montré que la taille de l'échantillon joue sur les tailles d'effet produites en mathématiques et en lecture. Ainsi, les effets moyens sont de +0,44 pour les études portant sur moins de 50 individus, ils se réduisent à +0,29 pour les échantillons de 51 à 100 individus et atteignent seulement +0,09 lorsque l'échantillon porte sur plus de 2000 individus. La méga-analyse de Cheung et Slavin (2016), montre que les études portant sur des échantillons $N > 250$ présentent une taille d'effet moyenne de +0,16 tandis que celles portant sur des échantillons $N < 250$ ont une taille d'effet moyenne près de deux fois plus importante de +,30. Ces tailles d'effet sont en moyenne de +0,38 pour des échantillons de moins de 100 individus et de +0,11 pour les échantillons de plus de 2000 individus. Les auteurs indiquent que ce phénomène s'explique, entre autres facteurs, par le fait que les petits échantillons sont plus facilement contrôlés ce qui produit un effet de « super-réalisation » (p.287).

- Les modèles randomisés vs les modèles quasi-expérimentaux.

Le design expérimental joue également sur la taille d'effet. La moyenne des tailles d'effet des études randomisées est de +0,16 contre +0,23 pour les études quasi-expérimentales. Cet écart est moins important en comparaison des effets des autres critères. Pourtant, sur les 645 études analysées par Cheung et Slavin (2016), seules 196 sont des études randomisées, ce qui donne mathématiquement plus de poids aux effets des études quasi-expérimentales.

- Les rapports publiés/non publiés.

Les études qui ne présentent pas d'effets ou des effets négatifs ont tendance à ne pas être publiées (biais de publication). De fait, ne prendre en compte que les études publiées, affecte positivement les effets globaux présentés dans les synthèses de travaux. Cheung et Slavin (2016) indiquent que c'est la raison pour laquelle les organisations telles que le *What Works Clearinghouse* ou le *Best Evidence Encyclopedia*, qui recensent et synthétisent les recherches efficaces basées sur les données probantes, demandent que soient considérées toutes les recherches sur une thématique (publiées, non publiées, mémoires, les rapports techniques et autres littératures grises) pour produire des résultats globaux plus fiables. Le biais de publication gonfle les effets calculés dans les méta-analyses de près de 30% (Tricot, 2020).

Ainsi, de nombreux chercheurs qui s'intéressent aux effets du numérique sur les apprentissages alertent sur les faiblesses méthodologiques récurrentes des études qui s'y rapportent. Ces faiblesses sont liées à l'absence de groupe contrôle et la présence de facteurs confondants, comme l'effort et l'enthousiasme des enseignants inclus dans les groupes d'intervention (Livingstone, 2012). Elles sont également dues à l'utilisation de tests non standardisés parfois alignés sur l'intervention (Li & Ma, 2010). Elles gonflent les effets, du fait d'échantillons trop faibles, de design expérimental non randomisé (Cheung & Slavin, 2016). Enfin la non prise en considération des résultats des études non publiées gonfle les résultats globaux des méta-analyses (Li & Ma, 2010 ; Tricot, 2020).

Des modérateurs liés aux caractéristiques de l'échantillon

Nous présentons ci-après les principaux effets modérateurs liés à ces caractéristiques concernant l'effet du numérique sur les apprentissages en mathématiques :

Le niveau d'enseignement. Dans une faible mesure l'usage des technologies bénéficie davantage aux élèves des classes élémentaires en comparaison du secondaire (Leroux *et al.*, 2017 ; Li & Ma, 2010 ; Ting, 2005). Cheung & Slavin (2013 ; 2016) confirment que les tailles d'effet ont tendance à être plus fortes dans le primaire que dans le secondaire, mais cette différence n'apparaît pas significative. Ils préconisent de comparer les tailles d'effet des interventions par niveau d'étude, primaire *versus* secondaire par exemple, mais également au sein de ces différents groupes de niveaux, pour les interpréter correctement.

Le niveau des élèves. Les technologies profitent davantage aux élèves lents ou en difficulté (Li & Ma, 2010 ; Ting, 2005). Ainsi, certaines fonctions pédagogiques montrent des effets très forts du numérique dans le cadre de contournement de troubles pour les élèves porteurs de handicaps (Tricot, 2020).

Le statut socio-économique des élèves. Selon Li & Ma (2010), les effets moyens des études concernant les élèves de bas statut sont de +1,35 ET (21 études), pour les élèves de statut moyen ils sont de +0,76 ET (6 études) et pour ceux de haut statut ils descendent à +0,68 ET (58 études).

Les modalités d'enseignement. Les effets sont meilleurs lorsque l'utilisation du numérique se fait en complément de l'enseignement habituel (Ting, 2005) ou combiné aux approches constructivistes avec un effet de +0,79 ET en comparaison à la combinaison du numérique avec des approches traditionnelles (Li & Ma, 2010)

La discipline. L'usage des technologies s'avère plus intéressante pour les mathématiques et les sciences (Li & Ma, 2010 ; Ting, 2005).

La durée d'intervention. Une durée plutôt courte (moins de 6 mois) produit de meilleurs effets, notamment parce que cela permet de maintenir l'effet de nouveauté (Li & Ma, 2010). Ainsi, Li & Ma (2010) considèrent la durée d'intervention comme un modérateur sur lequel on peut s'appuyer pour booster les apprentissages. A l'inverse, la trop courte durée d'intervention est considérée comme un biais méthodologique par Cheung and Slavin (2013), qui pourrait faire croire à un effet alors qu'il s'évanouit dès que l'intervention s'allonge.

Le cumul de ces différents facteurs ou « ingrédients » (p.232) peut affecter positivement les apprentissages des classes dans lesquelles on utilise les nouvelles technologies. Ainsi, d'après Li et Ma (2010), quand les technologies sont utilisées (1) auprès d'élèves à besoins particuliers, (2) dans des classes de niveau élémentaire, (3) dans une approche constructiviste, on peut s'attendre à un impact très positif des technologies sur les apprentissages en mathématiques, de l'ordre de +2,03 ET en comparaison des classes dans lesquelles on apprend les mathématiques sans les technologies. Ce résultat impressionnant (+2,03 ET) est à considérer avec prudence, car il s'agit d'un effet calculé par addition directe des différents coefficients, et non de l'effet produit par une étude regroupant les trois ingrédients mis en avant.

Notons enfin que des interrogations demeurent quant à la transférabilité des apprentissages acquis avec ces technologies : les études montrent que les enfants progressent davantage dans les habiletés spécifiques liées à l'utilisation de ces technologies que dans les apprentissages des disciplines dans lesquelles elles sont mises en œuvre (Harrisson *et al.*, 2003 cité par Livingstone, 2012). Nous concluons ce tableau sur les effets du numérique sans distinction d'outil utilisé, par les mots de Tricot (2020) : « Les méta-analyses de second ordre [...] qui rendent compte de 40 années de littérature sur l'effet des outils numériques sur les apprentissages, montrent un effet positif mais modéré [...] et elles signent sans doute la fin des méta-analyses généralistes sur cette question, tellement « ça dépend... ». » (p.5).

4. Que retenir ?

Les pratiques d'enseignement sont très étudiées dans le champ de la recherche sur l'efficacité de l'enseignement, car leurs effets produisent de grandes différences sur la réussite des élèves, notamment les plus fragiles. Les pratiques efficaces relèvent en grande partie de la qualité des interactions en classes et de la structuration des apprentissages. Elles sont en cela

transversales aux disciplines. En revanche, les outils pour développer l'enseignement d'une discipline peuvent être davantage spécifiques aux disciplines, comme c'est le cas en mathématiques avec le recours aux représentations, à la manipulation, à la résolution de problèmes, ou à l'utilisation d'outils numériques. Ces outils visent à rendre plus concrets et authentiques les apprentissages.

Nous avons examiné plus avant l'effet de l'utilisation des outils numériques sur les apprentissages mathématiques, en pointant les enjeux liés à leur déploiement dans l'éducation et les effets qu'ils produisent sur les apprentissages mathématiques. La très grande variabilité des effets recensés provient tout autant de la profusion des outils étudiés, des pratiques associées, de biais méthodologiques, que de la présence de nombreux modérateurs. L'étude de ces modérateurs a permis de repérer des « niches » d'efficacité. Par exemple, l'usage du numérique est plus efficace dans le primaire que le secondaire. Néanmoins cette importante variabilité conduit à la conclusion qu'il est impossible de tirer une loi généralisable des effets du numérique sur les apprentissages. C'est pourquoi dans le chapitre suivant, nous allons nous intéresser à un outil numérique précis : la programmation, et une pratique précise : son utilisation pour faire des mathématiques. Nous retracerons l'histoire de ce type d'usage, qui a connu plusieurs vagues d'outils, d'utilisation en classe et de recherches, les enjeux actuels de son développement, et les effets connus.

Chapitre II - La pensée informatique, un outil numérique comme vecteur d'apprentissage des mathématiques à l'école primaire

1. Exploiter la pensée informatique par la programmation, un outil numérique spécifique

Les expressions « numérique » ou « nouvelles technologies éducatives » sont des formules parapluies qui recouvrent une variété impressionnante d'outils et pratiques aux effets très variables. Les technologies peuvent désigner, sans nuance, aussi bien l'enseignement assisté par ordinateur (EAO), les systèmes d'apprentissage intégrés (SAI), que l'utilisation de la vidéo ou des tableaux blancs interactifs (Cheung & Slavin, 2013 ; Tricot, 2020). Il est de ce fait difficile de tirer des conclusions généralisables et robustes les concernant (Livingstone, 2012 ; Tricot, 2020 ; Cheung & Slavin, 2013 ; 2016). Afin de mieux les interpréter, un affinage est nécessaire. André Tricot (2020) propose de s'intéresser aux technologies éducatives en les considérant par le prisme de vingt-quatre fonctions pédagogiques soutenues par ces outils. Il s'est inspiré pour cela des travaux de De Vries (2001) qui proposait un classement des nouvelles technologies éducatives selon huit fonctions pédagogiques principales en indiquant, pour chacune d'entre elles, la théorie de l'apprentissage sous-jacente.

Notre dispositif évalue les effets de la pensée informatique, opérationnalisée par l'intermédiaire de la programmation, sur les acquisitions mathématiques et les variables motivationnelles. Aussi, à partir de ce point, nous porterons notre intérêt principalement sur l'effet de la programmation comme outil numérique d'exposition à la pensée informatique sur les mathématiques à l'école primaire. Nous nous efforcerons de mettre en avant les fonctions pédagogiques que cet outil favorise en les rattachant aux théories de l'apprentissage et aux résultats empiriques existants.

La programmation est considérée comme un moyen de communiquer, partager, explorer des idées, elle serait un outil pour apprendre et réaliser des tâches (Guzdial, 2019). Selon Tricot (2020), « Programmer » (p.58) est une fonction pédagogique à part entière dont l'intention peut être aussi bien d'apprendre à programmer qu'un moyen d'apprendre autre chose, par exemple des mathématiques. La programmation remplit au moins trois autres fonctions pédagogiques mentionnées par Tricot (2020) et De Vries (2001). La première est de « découvrir des concepts abstraits » (p.61), ce que De Vries a appelé « fournir un environnement pour la découverte des domaines abstraits » (p.111), rattachée aux théories constructionnistes de Papert (1980 ; 1991). La deuxième fonction est de faire « coopérer » les élèves, par exemple pour résoudre un problème (Tricot, 2020, p.36), ce que De Vries a nommé « fournir un espace d'échange entre élèves » (p.111), rattachée à la théorie de la cognition située. La troisième fonction de l'utilisation de la programmation est de « motiver » (Tricot, 2020, p.33), ce que De Vries a désigné comme « captiver l'attention et la motivation de l'élève » (p.112) étayé par les théories de la motivation. Ces différentes fonctions sont autant d'arguments avancés pour appuyer l'introduction de la pensée informatique dans les programmes scolaires.

2. Les débuts de la programmation à l'école et ses effets sur les mathématiques avant 2006.

La pratique de la programmation pour apprendre les mathématiques n'est pas nouvelle, elle a connu deux grandes phases d'exploitation (avant et après les années 2000), la dernière en date ayant vu le jour suite aux évolutions majeures des fonctionnalités des langages de programmation à partir des années 2000 qui invitent à réévaluer l'effet de leur pratique sur les mathématiques.

Les paragraphes suivants présentent un historique succinct de la programmation à l'école pour faire des mathématiques à partir de la seconde moitié du 20^e siècle. Nous aborderons le constructionnisme, théorie *princeps* de Papert (1980) qui considérait la programmation comme un outil puissant pour explorer les concepts mathématiques de manière concrète (Hickmott *et al.*, 2017). Nous verrons en quoi la mise en œuvre du constructionnisme peut avoir des effets favorisant l'apprentissage des mathématiques, les interactions entre élèves et leur motivation à faire des mathématiques. Pour autant, la pratique des mathématiques intégrée dans un environnement de programmation réclame beaucoup d'attention, et peut détourner les élèves des connaissances mathématiques (Tricot, 2020). C'est pourquoi cette attention nécessite un

soutien crucial de la part des enseignants pour aboutir aux objectifs visés (Hoyles & Noss, 1987). Nous verrons enfin comment les pratiques de programmation, mises en œuvre en classe dans les années 80, ont progressivement été abandonnées.

A. L'avènement du constructionnisme dans les années 1970

D'abord le constructivisme

En 1879, Wundt a fondé le premier laboratoire de psychologie qui avait pour objet l'étude de la conscience en utilisant la méthode expérimentale afin de se détacher de la « subjectivité » que l'approche philosophique pouvait produire (Bourgeois & Frenay, 2006). Dès la création de cette nouvelle discipline, plusieurs grands courants sont apparus s'agissant de l'apprentissage humain. Le courant pragmatique, initié par William James, Stanley Hall et John Dewey, considérait l'apprentissage comme un processus de transformation selon deux niveaux : le niveau concret, de l'action, et le niveau abstrait, de la réflexion. L'apprentissage se construirait dans l'articulation des deux niveaux : action, réflexion à propos de cette action. Pour que l'apprentissage soit optimum, l'action doit avoir du sens pour l'apprenant. Ces éléments préfigurent le constructivisme piagétien et les pédagogies actives qui en découleront (Bourgeois & Frenay, 2006).

Piaget (1968 ; 1973) s'intéresse à la construction de la connaissance (ou développement cognitif), dont la construction répond aux lois d'adaptation biologiques du développement, c'est-à-dire, indépendamment de l'enseignement. Selon lui, le savoir ne peut être simplement « déversé » dans la tête de l'apprenant pour être acquis dans une perspective empiriste. Les enfants ont leurs propres vues du monde, cohérentes et robustes (structures internes), qu'ils complètent ou transforment pour acquérir de nouvelles connaissances. Pour changer ces vues et acquérir de nouvelles connaissances, ils doivent s'engager dans des actions signifiantes pour eux (apport extérieur de l'expérience), qui viennent remettre en question leurs savoirs antérieurs, permettant la construction de nouveaux savoirs qui s'ajoutent aux précédents ou les transforment (Bourgeois & Frenay, 2006 ; Rob & Rob, 2018).

La construction de la connaissance s'établit par le conflit cognitif : discussion intérieure menée par l'élève pour rééquilibrer ses connaissances ou leur apporter une nouvelle cohérence, lorsque ses connaissances antérieures contredisent la compréhension de la situation d'apprentissage. Ainsi, pour Piaget (1968), la connaissance n'existe pas en soi, elle se construit

à travers l'expérience du processus de rééquilibration entre savoirs antérieurs et expérience nouvelle. Le passage par l'action permet d'atteindre *in fine* un nouvel équilibre cognitif. Selon Piaget (1968), cet équilibre correspond à la stabilisation de la pensée abstraite visée ou par assimilation (des éléments nouveaux à des structures déjà en place) et accommodation (modification des schémas assimilés par les objets assimilés). Ces deux processus ne sont possibles qu'en interaction : sans accommodation, pas d'assimilation et inversement (Piaget, 1968).

A travers la coordination des actions produites sur les objets, « l'expérience logico-mathématique » (1973, p.3), est un outil puissant de construction du sens mathématique. Piaget relate ainsi le souvenir d'un de ses amis (âgé alors de quatre ans) qui avait aligné des cailloux pour les dénombrer de gauche à droite. En ayant trouvé 10, son ami décide de les compter dans le sens inverse, de droite à gauche. Découvrant avec stupéfaction qu'il énumère à nouveau 10 cailloux, il décide de les organiser sous différentes formes pour en compter systématiquement 10. Les actions ainsi réalisées concernent l'expérience logico-mathématique qui a permis à l'enfant de l'époque de comprendre que l'ordre ne joue pas sur la quantité.

Le constructivisme n'est pas une méthode pédagogique, c'est une théorie qui explique comment la connaissance se développe selon des étapes précises (stades) qui se succèdent dans un ordre constant (Piaget, 1968). Entre 7 et 12 ans, l'enfant serait au stade des opérations concrètes : capable de capacités de raisonnements logiques, limités cependant aux objets concrets. Notons qu'à cette époque (dans les années 1970), les réflexions à propos de la théorie des stades du développement cognitif demeuraient purement théoriques car les outils nécessaires à leur validation, tels que l'imagerie par résonance magnétique ne sont apparus que bien plus tard, dans les années 1990 (Houdé & Borst, 2014). Pour autant, cette théorie a essaimé et inspiré les démarches constructivistes, dont une variante est les démarches d'investigation, soutenues par les textes officiels dans de nombreux pays. Ces démarches sont très suivies, sous l'hypothèse que les élèves apprennent mieux s'ils sont actifs, s'ils mettent « la main à la pâte », et construisent eux-mêmes leurs connaissances, argument central du constructivisme. Néanmoins, nous l'avons vu, cette théorie fait débat, son efficacité et sa capacité à faire réussir tous les élèves (équité) sont questionnées (Bissonnette *et al.*, 2010 ; Kirschner *et al.*, 2006 ; Kyriakides *et al.*, 2013) notamment par les chercheurs qui s'intéressent à l'efficacité de l'enseignement.

Puis le constructionnisme, inspiré du constructivisme

S'appuyant sur le paradigme constructiviste (*v-word*), Seymour Papert (1928-2017) conçoit une nouvelle théorie, le constructionnisme (*n-word*), exploitant les fonctionnalités de la programmation pour explorer les concepts mathématiques, abstraits par essence, afin de les rendre plus concrets et en faciliter manipulation et compréhension (Hickmott *et al.*, 2017). Papert se défie du monde de l'éducation ; il a retenu de Piaget que « l'essence de l'apprentissage est l'appropriation⁷ » (Papert, 1986). Si Piaget vise la pensée abstraite, l'équilibration de celle-ci, Papert pense l'apprentissage en contexte et vise la pensée concrète, qui lui paraît tout aussi fondamentale. Il ne s'intéresse pas à l'équilibration de Piaget, mais à la dynamique du changement à l'œuvre lors de la découverte de nouvelles idées (Ackermann, 2001). Si la pédagogie peut être vue comme « l'art d'enseigner », Papert considère le constructionnisme comme « l'art d'apprendre » (Rob & Rob, 2018). La programmation favoriserait un rapport ludique aux mathématiques, qui impliquerait les élèves à la fois affectivement et cognitivement vis-à-vis des mathématiques. Les projets de programmation permettraient de faire beaucoup plus de mathématiques que dans une classe de mathématiques, en favorisant l'expression de l'imagination mathématique ; ces environnements faciliteraient la résolution de problèmes, en permettant aux élèves de s'appuyer sur des approches intuitives et visuelles pour accéder à un niveau d'analyse plus profond (Papert & Harel, 1991).

Le constructionnisme partage avec le constructivisme cette vision que l'apprenant construit ses connaissances par une progressive internalisation d'actions. Mais ce n'est pas seulement la création de quelque chose de signifiant qui favorise l'apprentissage, c'est aussi le fait que l'apprenant soit consciemment engagé dans la construction d'un artefact dont il sait qu'il sera rendu public, partagé avec d'autres (Ackermann, 2001). La construction de cet artefact donne du sens aux apprentissages mathématiques, ce qui leur faisait souvent défaut à cette époque, permettant ainsi de pratiquer les mathématiques de façon fonctionnelle (Papert & Harel, 1991 ; Hoyles & Noss, 1987). Cette « conversation » (p.276) entre leur propre artefact et celui des autres élèves soutiendrait un apprentissage plus régulé (Rob & Rob, 2018). Le constructionnisme propose d'ancrer les apprentissages dans l'expérience de la programmation, qui apporte une autre forme de pensée : la pensée informatique. Selon Papert, cette approche

⁷ “the essence of learning is appropriation”.

permet des conditions favorables d'apprentissage même lorsque l'enseignement est défaillant « l'objectif est de produire le plus d'apprentissage avec le moins d'enseignement possible »⁸ (Papert, 1993, p. 139). Car selon Papert, l'enseignement entrave les apprentissages et n'exploite pas assez les formidables ressources cognitives des enfants. Ainsi, pour Papert et Harel (1991), si le constructionnisme peut être un mode d'apprentissage qui convient davantage à certaines personnes, ils affirment qu'il est en tout cas meilleur pour tous en comparaison de l'apprentissage instructionniste, qu'ils jugent prédominant à l'école. Papert soutenait l'idée qu'en pensant à programmer, les élèves deviendraient des experts à penser et pourraient transférer cette compétence - générale - à d'autres contextes, scolaires et quotidiens (Voogt *et al.*, 2015). La programmation informatique permettrait de développer des niveaux élevés de pensée mathématique, particulièrement en géométrie, des aptitudes spécifiques à la résolution de problèmes et métacognitives et favoriserait les interactions sociales (Clements, 2000).

Dans les années 1970, Papert, conçoit le *Logo*, au *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), pour implémenter le constructionnisme. C'est un langage de programmation dont la syntaxe est proche du langage naturel afin d'en permettre l'accessibilité aux jeunes élèves et leurs enseignants. Le but de la création de ce langage est sa diffusion dans les classes pour permettre aux élèves d'appréhender des concepts mathématiques abstraits d'une façon plus concrète et attrayante. *Logo* permet de jouer avec les idées mathématiques ce qui favoriserait l'implication cognitive et affective des élèves (Clements, 2000). D'autres langages ont permis d'implémenter le constructionnisme dans les classes à cette même époque, parmi lesquels le *Pascal* et le *Basic*. Papert et Harel (1991) ajoutent que si les ordinateurs occupent une place importante au sein du constructionnisme, dans la mesure où ils permettent d'exploiter un large éventail de situations, la démarche constructionniste peut également se réaliser avec des objets ordinaires, comme « la bonne vieille ficelle de jardin⁹ » (p.11) qui offre cependant une gamme de situations plus restreinte.

⁸ « the goal is to teach in such a way as to produce the most learning for the least teaching » (Papert, 1993, p. 139).

⁹ « But common old garden string, though less versatile in its range, provides some [excellent contexts for constructionist learning] as well.» (Papert & Harel, 1991, p.11)

B. Les études *ante* langages visuels à partir des années 1970

L'expansion des idées du constructionnisme et des langages pour le mettre en œuvre a fait entrer la programmation dans les programmes scolaires à partir des années 1970, par exemple en France (Tricot, 2020), en Angleterre et aux Etats-Unis (Hickmott *et al.*, 2017 ; Lye & Koh, 2014). En parallèle, des études ont été conduites pour en évaluer les effets sur les acquisitions mathématiques. Lee (1990) a montré des effets faibles mais positifs de la programmation avec *Logo* sur les capacités de résolution de problèmes et l'apprentissage des mathématiques. Notons cependant que les expériences qui ont appliqué les idées de Papert à la lettre, comme *Logo Maths Project* (Hoyle & Noss, 1989 cités par Balachef, 2017), ont échoué car les enseignants devaient attendre que l'occasion d'introduire les notions visées apparaissent spontanément... ce qui ne se produisait pas.

Les recherches sur *Logo* ont montré que si les élèves utilisaient des connaissances mathématiques dans leur programmes, cela n'entraînait pas d'amélioration des apprentissages de celles-ci (Battista & Clements, 1986, cités par Tricot, 2020). Cela suggère que le constructionnisme ne fonctionne peut-être pas, en tout cas, pas de façon pure et avec ce langage (*Logo*), aussi proche soit-il du langage naturel pour l'époque. Cela pose, également la question des conditions de réalisation du transfert d'apprentissage de la programmation vers les mathématiques. La plupart des études sur *Logo* n'ont pas montré de transfert d'apprentissage de compétences générales (Bransford *et al.*, 2000 ; Tricot, 2020). Le transfert, lorsqu'il a été observé, concernait des habiletés spécifiques pour des tâches extrêmement similaires, comme l'enseignement de compétences de débogage dans des tâches non liées à la programmation ou la correction d'instructions écrites (Klahr & Carver, 1988). Nous nous attarderons plus spécifiquement sur la question du transfert d'apprentissage dans le chapitre suivant.

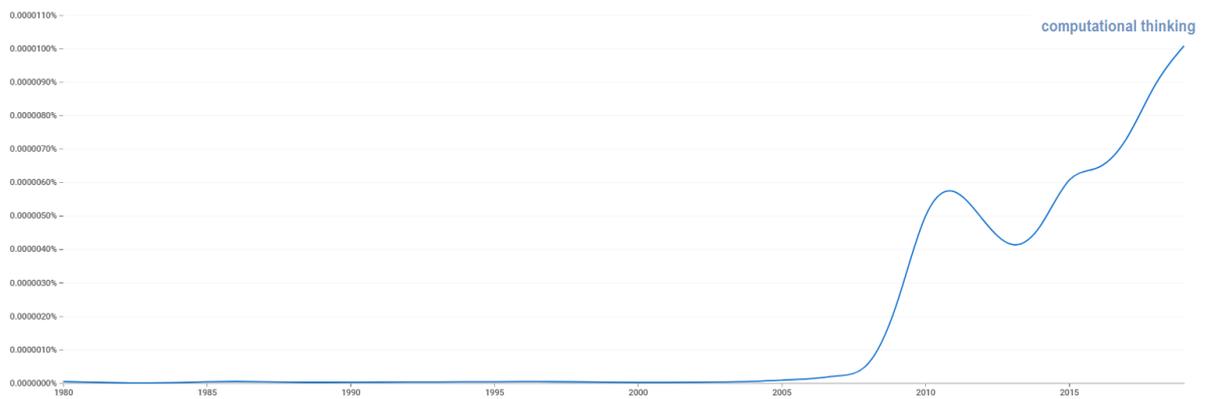
Les recherches portant sur les effets de la programmation sur les acquisitions mathématiques se sont essouffées suite à l'abandon progressif de l'enseignement de ces langages dont la complexité syntaxique rendait la maîtrise laborieuse, autant pour les enseignants que pour leurs élèves (Benton *et al.*, 2018 ; Moreno-León & Robles, 2016). Néanmoins, si les langages de programmation textuels, tels que *Logo*, ou *Basic*, n'ont pas permis d'apporter un grand crédit au constructionnisme, il est intéressant de revisiter cette théorie à la lumière des langages visuels de programmation, plus accessibles, afin d'étayer l'idée selon laquelle la pensée informatique serait une façon de développer des compétences de pensée particulières, comme Papert l'avait théorisé (Voogt *et al.*, 2015).

3. Depuis 2006, une ruée internationale au déploiement de la pensée informatique dans les programmes scolaires

A. Des compétences numériques pour agir dans une société ultra numérisée

A l'image de l'engouement international observé pour le développement de l'équipement informatique des établissements, une course au déploiement s'observe à nouveau, concernant cette fois-ci la pensée informatique au sein des programmes scolaires dans de nombreux pays (Bocconi *et al.*, 2016 ; Wing & Stanzione, 2016 ; Tang *et al.*, 2019). Les décideurs politiques considèrent la pensée informatique et ses concepts liés, tels que la programmation, comme des compétences aussi fondamentales à acquérir à l'école que la lecture ou les mathématiques (Bocconi *et al.*, 2016). Les décideurs montrent ainsi un intérêt croissant pour développement de la pensée informatique qu'ils considèrent un outil central dans l'accès aux STIM (sciences, technologie, ingénierie et mathématiques) dont le développement est en plein essor également (Grover & Pea, 2013).

L'expression « pensée informatique » (*Computational thinking*), introduite par Papert dans les années 60, doit sa popularisation à Jeannette Wing (2006) suite à sa célèbre communication aux ACM (*Association for Computing Machinery*) comme l'illustre le graphique 1. Cette communication a marqué le début de très nombreuses recherches sur la pensée informatique dans le domaine de l'éducation. Par exemple, en juin 2022, une recherche sur GoogleScholar portant sur les documents contenant au moins les termes « education » et « computational thinking » publiés depuis 2006 fait remonter plus de 129 000 documents.



Graphique 1. Evolution de la fréquence d’occurrence de l’expression « computational thinking » à travers le temps dans les sources imprimées en anglais américain depuis 1980, obtenu avec Ngram le 24 mai 2022.

Wing a défini la pensée informatique comme recouvrant « les processus de pensée impliqués dans la formulation de problèmes et de leurs solutions de sorte que les solutions sont représentées sous une forme qui peut être efficacement exécutée par un agent de traitement de l’information »¹⁰ (2011, p.1). S’il est admis que la pensée informatique couvre les concepts d’abstraction, de décomposition, d’algorithmes et de débogage, de nombreux auteurs déplorent cependant l’absence de consensus sur sa définition (Drot-Delande *et al.*, 2019 ; Lye & Koh, 2014 ; Shute *et al.*, 2017 ; Zhang & Nouri, 2019). Cette absence de définition conduit au développement d’études utilisant des mesures disparates, présentant des effets difficilement comparables.

Malgré cette diversité autour de la définition de la pensée informatique, de nombreux chercheurs considèrent la programmation comme un moyen d’enseigner, d’évaluer et d’exposer les élèves à la pensée informatique (Scherer, 2016 ; Scherer *et al.*, 2019). Cependant, Shute *et al.* (2017) soutiennent qu’il est trop limitatif de réduire la pensée informatique à la programmation exclusivement, car la pensée informatique implique des processus cognitifs qui peuvent être exercés avec ou sans l’utilisation d’ordinateurs, comme l’indiquent les recherches sur l’informatique débranché (Huang & Looi, 2021 ; Romero *et al.*, 2018). Sur la base de leur revue de littérature, Shute *et al.* (2017, p.151) ont proposé une définition qui synthétise les différentes approches de la pensée informatique étudiée à travers le cursus scolaire et

¹⁰ “Computational thinking is the thought processes involved in formulating problems and their solutions so that the solutions are represented in a form that can be effectively carried out by an information-processing agent”, (Wing, 2011, p.1)

universitaire. Ils définissent la pensée informatique comme « le fondement conceptuel nécessaire pour résoudre des problèmes de manière efficace et efficiente (c'est-à-dire de manière algorithmique, avec ou sans l'aide d'ordinateurs) avec des solutions réutilisables dans différents contextes »¹¹. La programmation joue donc un rôle important dans la construction de la pensée informatique (Weintrop & Wilensky, 2015) sans que celle-ci soit réduite à la seule programmation (Shute *et al.*, 2017 ; Voogt *et al.*, 2015).

La programmation est considérée par la Commission Européenne comme une nouvelle forme d'alphabétisation dont tout citoyen doit être doté pour vivre dans la société actuelle, elle doit préparer les élèves à accéder aux cursus universitaires qui forment aux emplois qui y sont rattachés (Bocconi *et al.*, 2016). Selon nombre de chercheurs et décideurs, elle permettrait de développer des compétences générales utiles pour vivre dans notre société telles que la créativité, la pensée critique et la résolution de problèmes (Lye & Koh, 2014). La question de l'utilité pour tous fait néanmoins débat (Grover & Pea, 2013).

B. Avec les langages visuels, la programmation fait peau neuve et se popularise, le cas de *Scratch*

La popularisation de la pensée informatique, en 2006, coïncide avec l'arrivée de langages visuels de programmation libres, gratuits et pensés pour faciliter la programmation, comme *Scratch* et *Alice*, langages les plus utilisés dans l'enseignement (Weintrop & Wilensky, 2015) dans la lignée de *Logo* (Lye & Koh, 2014). *Alice* est davantage destiné à l'apprentissage de la programmation conventionnelle et s'est développé dans le supérieur (Weintrop & Wilensky, 2015). *Scratch*, mis à disposition en 2003 (Robins, 2019) par le MIT, a été conçu pour les enfants à partir de 8 ans, afin de leur permettre de se familiariser avec la programmation dès leur plus jeune âge. Il a pour objectif de soutenir l'intérêt, la créativité et la pensée informatique des enfants (Resnick *et al.*, 2009).

¹¹ “The conceptual foundation required to solve problems effectively and efficiently (i.e., algorithmically, with or without the assistance of computers) with solutions that are reusable in different contexts” (Shute *et al.*, 2017, p.151)

Pour qu'un langage de programmation soutienne les apprentissages de néo-programmeurs, Resnick *et al.* (2009) indique qu'il faut que celui-ci présente au moins deux qualités : un plancher bas (*low floor*), c'est-à-dire dont la maîtrise soit facile et rapide, et un plafond haut (*high ceiling*), c'est-à-dire suffisamment puissant pour permettre de développer des programmes complexes. *Scratch* dispose de ces qualités qui le rendent utilisable dans de multiples contextes (Sáez-López *et al.*, 2016 ; Scherer, 2016). De ce fait, c'est le langage de programmation le plus fréquemment utilisé dans la communauté éducative (Lye & Koh, 2014 ; Tang *et al.*, 2019).

L'environnement de programmation *Scratch* présente l'ensemble de ses fonctionnalités dans une seule fenêtre, divisée en plusieurs espaces dont les principaux sont : l'espace de mise à disposition des blocs-codes, l'espace de programmation et l'espace d'exécution (figure 1). Cet environnement simplifié, réduit à une seule fenêtre, dont les différents éléments sont toujours visibles, participe à l'accessibilité de l'outil (Maloney *et al.*, 2010). L'espace dédié à l'exécution du programme permet à l'élève d'obtenir un retour d'information visuel (et/ou auditif s'il a programmé des instructions sonores) immédiat sur le déroulement de son programme. Cette rétroaction, ou feed-back direct, s'apparente aux rétroactions de résultat telles que définies par Kramarski & Zeichner (2001), délivrant un retour uniquement sur le résultat final, sans apporter d'indices pour soutenir le raisonnement de l'apprenant. Ainsi, lorsque l'apprenant exécute un programme avec *Scratch*, cela provoque une ou plusieurs actions dont le résultat, visible dans l'espace d'exécution, fournit une rétroaction directe à l'élève, qui peut juger de l'adéquation de ce qui s'est produit avec ce qu'il avait l'intention de produire par les instructions codées dans son programme. Elle permet à l'apprenant de valider ou non le programme relativement au comportement attendu, et correspond à ce que Maloney *et al.* (2010) appellent « rendre l'exécution visible » (p.5).

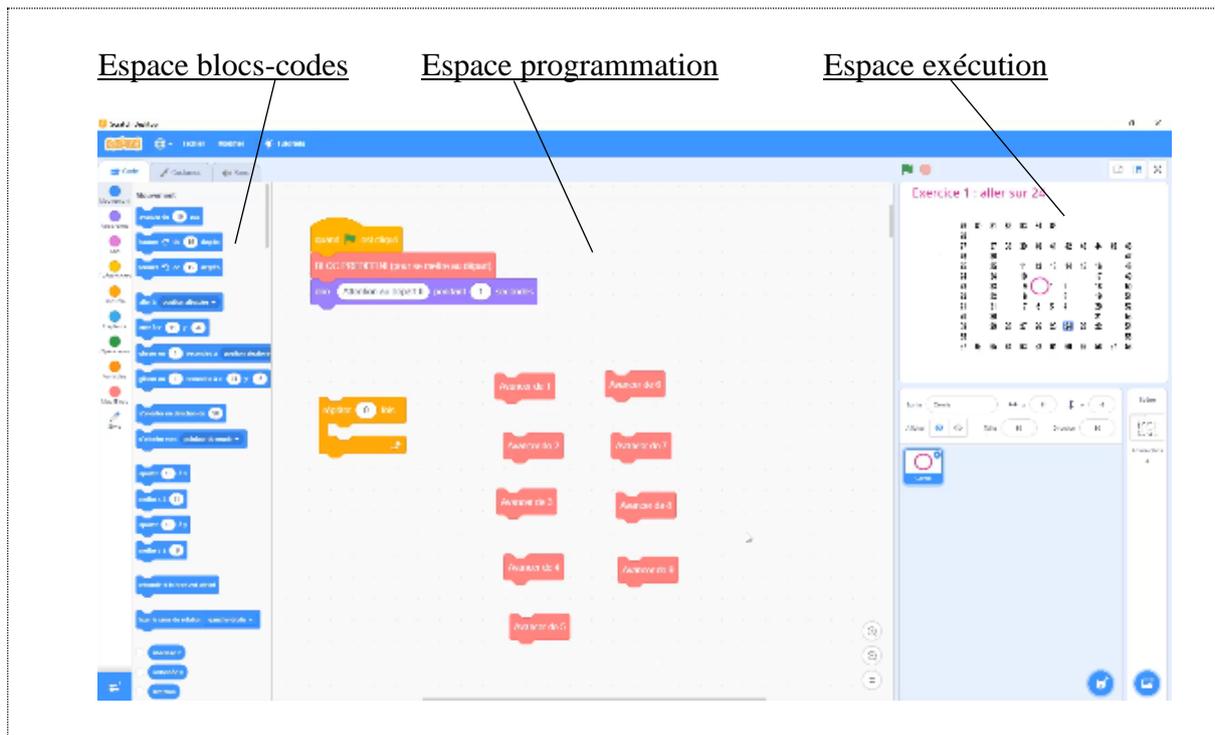


Figure 1. L'environnement de programmation *Scratch* et ses trois principaux espaces.

Scratch a éliminé les problèmes de syntaxe rencontrés avec Logo et les autres langages de programmation développés au 20^è siècle en mettant à disposition des utilisateurs des blocs-codes dans lesquels sont préprogrammés les lignes de codes (Guzdial, 2019). Il permet aux utilisateurs de réaliser des programmes puissants en emboitant logiquement ces blocs-codes par glisser-déposer ; c'est pourquoi on appelle également ce type de langage les « langages de programmation par blocs » (*bloc-based programming*). La construction visuelle facilite la compréhension des concepts et réduit la charge cognitive liée à la gestion de la syntaxe, permettant aux élèves de concentrer leur attention sur la tâche de construction de leur programme dans le but de résoudre le problème qui leur est posé (Lye & Koh, 2014 ; Sengupta *et al.*, 2015, cité par Scherer *et al.*, 2020).

Prenons l'exemple de la « boucle itérative », concept de base en programmation permettant de coder des instructions du type : « **tant que** la condition est remplie **alors** exécuter le traitement indiqué ». Sous *Scratch*, cette instruction est en forme de C, comme une pince qui peut contenir une ou plusieurs instructions. Cette forme a été conçue pour permettre à l'enfant de comprendre que les instructions placées à l'intérieur de la pince forment un groupe dont l'exécution va être réitérée autant de fois qu'indiqué (voir figure 2).

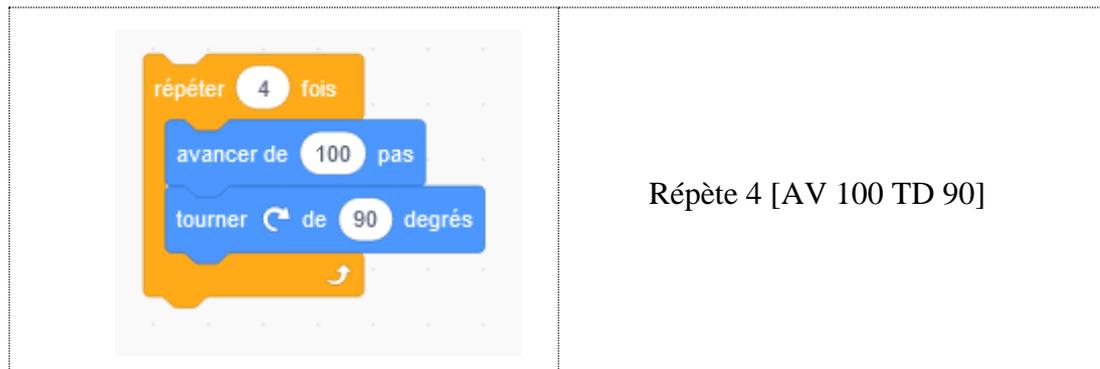


Figure 2. Une boucle programmée avec *Scratch* (gauche) et avec *Logo* (droite).

La construction visuelle facilite la programmation en autorisant uniquement l'assemblage des blocs qui s'emboîtent. Il est impossible de combiner deux blocs qui ne sont pas prévus pour cela (Figure 3). De plus, les zones de saisie des blocs-codes sont souvent préremplies pour indiquer à l'utilisateur quel type de donnée est accepté, un contrôle est effectué dans ces zones de sorte qu'il n'est pas possible de saisir une donnée d'un type autre que celui attendu. Par exemple, il n'est pas possible de saisir un caractère là où un nombre est attendu. Ces contrôles éliminent les erreurs de syntaxe et réduisent fortement les autres types d'erreurs.



Figure 3. Les blocs codes de gauche rendent la combinaison de droite possible.

Scratch n'affiche pas de messages d'erreurs. Les erreurs possibles concernent très l'exécution du programme, lorsque celle-ci ne correspond pas à ce que l'utilisateur souhaitait produire. Weintrop et Wilensky (2017) ont montré que les langages de programmation par blocs permettent aux étudiants d'apprendre à programmer plus rapidement qu'avec des langages textuels. Ils pourraient être une étape facilitant l'accès à la programmation avec des langages textuels (Guzdial, 2019).

L'arrivée des langages visuels tels que *Scratch*, a facilité l'insertion de la pensée informatique dans de nombreux programmes scolaires. Elle y est insérée, soit en tant que matière *per se*, notamment dans le secondaire, soit à travers d'autres disciplines, souvent scientifiques, et plus particulièrement à travers les mathématiques (Bocconi *et al.*, 2016). La pensée informatique reprend, à travers les mathématiques, le chemin initié par Papert dans les années 1970. Ainsi, la pensée informatique est considérée comme un vecteur potentiel d'apprentissage propice aux mathématiques, car il existe d'importantes similitudes entre les compétences impliquées dans les deux domaines, notamment en ce qui concerne la résolution de problèmes (Scherer, 2016 ; Shute *et al.*, 2017 ; Tchounikine, 2017).

C. Les études depuis les langages visuels à partir de 2006

Après la première série d'études sur les effets de la programmation initiées dans les années 1970, une seconde série débute dans les années 2000. Elles font suite à l'introduction de langages de programmation visuels, encouragées par la célèbre communication de Jeannette Wing (2006) qui accorde à la pensée une place centrale dans tous les processus de pensée, quelle que soit la discipline. Ainsi de très nombreux chercheurs se sont (ré)emparés de la question de la pensée informatique dans l'éducation (Grover & Pea, 2013).

Tang *et al.* (2019) dressent un portrait très éclairant des tendances de la recherche à travers le monde, à partir de 2006, sur la pensée informatique en éducation en s'attachant à détailler toutes les caractéristiques de cette recherche (niveaux étudiés, disciplines, outils de programmation, etc.). Ils montrent ainsi que le nombre de recherche a explosé depuis 2012 (voir Figure 4) et sont dominées par une dizaine de pays qui contribuent à plus de 73% de la recherche totale : les Etats-Unis largement en tête, suivis de Taïwan, l'Espagne, la Turquie, le Royaume-Uni, la Chine, la Grèce, l'Australie, les Pays-Bas et le Canada. Les articles les plus cités sont ceux de Wing (2006), de Papastergiou (2009) à propos de l'efficacité de

l'apprentissage et la motivation dans l'enseignement supérieur, de Resnick *et al.* (2009) et de Weintrop *et al.* (2016) à propos du bénéfice d'inclure la pensée informatique dans les classes mathématiques et sciences. Les études concernent majoritairement l'enseignement secondaire (35%) et universitaire (32%), un peu moins l'enseignement élémentaire (22%) et très peu l'école maternelle (3%). Les matières ciblées en premier lieu concernent le développement des compétences en informatique puis les mathématiques, les matières les plus représentées concernent les STIM (sciences, technologie, ingénierie et mathématiques).

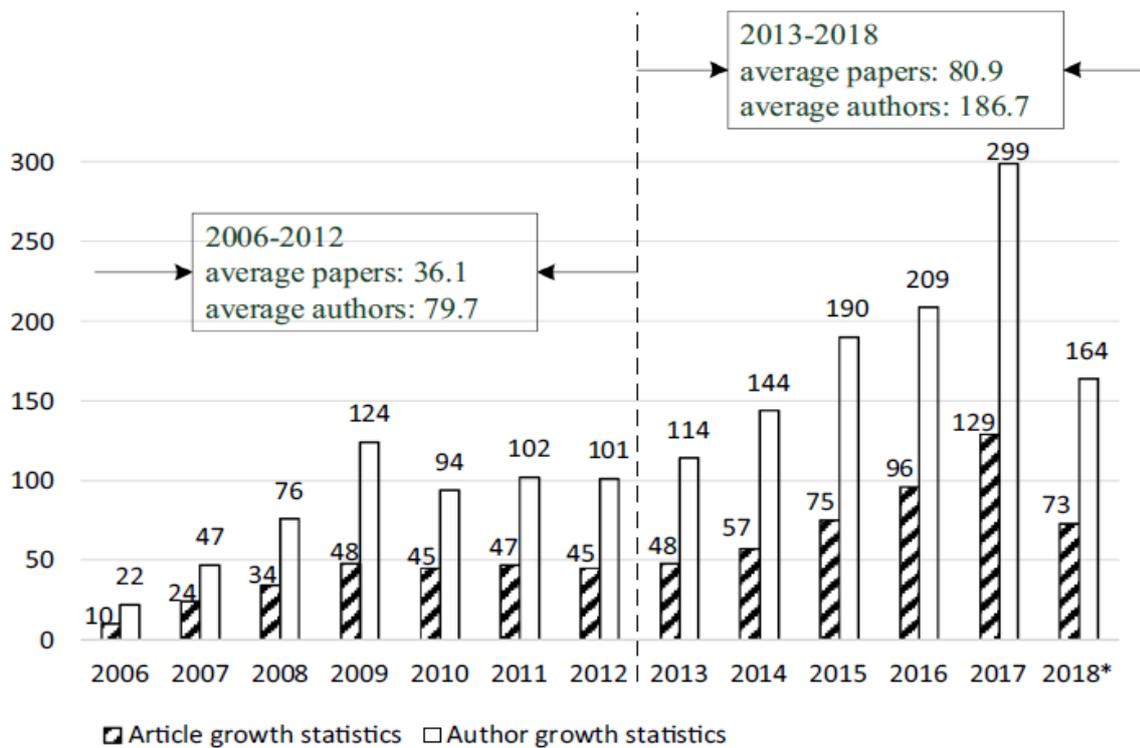


Figure 4. Graphique des publications sur la « Pensée informatique » (2006-2018) et nombre d'articles de revues de Tang *et al.* (2019).

Les études qui traitent de la programmation en éducation peuvent se répartir en deux catégories. Les premières, souvent menées par des chercheurs en informatique, qui se concentrent sur les effets de la programmation sur le développement des compétences en pensée informatique, sans aborder ses effets sur l'apprentissage des disciplines dans lesquelles elle est utilisée (Cheng, 2019 ; Hickmott *et al.*, 2017 ; Moreno-León & Robles, 2016 ; Shute *et al.*, 2017, voir Zhang & Nouri, 2019 pour une revue complète). Ces études répondent notamment à la pression des décideurs internationaux qui font de l'acquisition des compétences

liées à la pensée informatique une priorité, et l'introduisent pour cela dans les programmes scolaires.

La seconde catégorie d'études, beaucoup moins fournie que la précédente, se concentre sur les effets de la programmation, en tant que moyen de mobiliser la pensée informatique, pour l'apprentissage des disciplines qui l'utilisent. La programmation y est présentée comme un « outil cognitif » utilisé le plus souvent au bénéfice des mathématiques et des sciences (Guzdial, 2019). Nous en présentons les principaux résultats ci-après.

La revue de Moreno-León et Robles (2016)

Cette revue résume les recherches menées à partir de 2007 utilisant la programmation avec *Scratch* dans des matières non informatiques et focalise notamment sur le type de compétences développées *via* la programmation. A partir des 107 études initialement recueillies, Moreno-León et Robles (2016) en ont trouvé huit qui examinaient les effets de la pensée informatique sur l'apprentissage des disciplines dans lesquelles elle est intégrée, dont seulement trois portaient sur les mathématiques.

La première étude (Ke, 2014) testait l'effet du développement d'un jeu programmé avec *Scratch* auprès de 64 élèves adolescents (« *middle grade* », de 8 à 12 ans) sur les attitudes vis-à-vis des mathématiques, évaluées par observation, entretien et questionnaire. Ainsi, l'étude ne s'intéressait pas aux performances en mathématiques, par ailleurs elle présentait quelques faiblesses dont le fait de ne pas avoir de groupe contrôle.

La seconde étude (Lewis & Shah, 2012) était une étude corrélationnelle entre les performances en mathématiques et en programmation, auprès de 47 enfants de grade 6 (6^e) d'une colonie de vacances. Les enfants étaient volontaires et ont suivi 36h (réparties sur 12 jours) d'enseignement des langages de programmation *Scratch*, *Snap* et *Logo*. Les activités qu'ils ont réalisées faisaient appel aux mathématiques, mais n'étaient pas conçues autour de contenus mathématiques. Parmi les enfants, 22 élèves ont accepté de renseigner leurs résultats de tests nationaux en mathématiques, en arts et en langage (100% d'entre eux avaient un score « avancé » en mathématiques contre 42% des élèves sur le plan national). De plus, les enfants ont répondu du 2^e au 10^e jour à des quizz sur les connaissances qu'ils avaient acquises en programmation la veille de chaque test. La somme de ces scores pouvait totaliser 148 points. L'étude a montré une très forte corrélation entre les résultats en mathématiques et les performances aux quizz ($t=3,46, p=0,002$). En revanche, il n'y avait pas de corrélation entre la

réussite en Arts et langage et les performances aux quizz ($t=1,288$, $p=0,213$). Cette étude apporte des résultats intéressants, mais elle s'appuie sur un échantillon très faible. En outre, elle ne présente pas un design expérimental permettant d'établir un lien causal. Et dans ce cas, la chronologie des mesures tendrait à prouver que ce sont les connaissances en mathématiques qui affectent la réussite en programmation.

La troisième étude est une communication de Zavala, *et al.* (2013) qui teste les effets d'un jeu sérieux avec *Scratch* sur les capacités à conceptualiser la signification des nombres et leurs relations auprès de 49 élèves (27 dans le groupe expérimental), de 8 et 9 ans de 3^e année (CE2). Les élèves ont bénéficié de trois sessions de 30 minutes réparties sur deux semaines. Il n'est pas fait mention dans l'article des activités que mènent les élèves du groupe témoin. Les résultats montrent des différences à la faveur du groupe de programmation concernant la signification des nombres et l'ordonnement de séquences de nombres (respectivement 37% et 40% d'erreurs dans le groupe programmation contre 60% et 60% d'erreurs dans le groupe témoin).

Moreno-León et Robles (2016) concluent que *Scratch* semble avoir le potentiel pour améliorer les apprentissages autres que ceux liés à l'informatique. Néanmoins, trop d'études présentent des faiblesses méthodologiques liées à l'absence de groupes contrôles ou de prétest et des échantillons trop réduits. D'ailleurs, les trois seules études de leur corpus qui s'intéressaient aux effets de la programmation avec *Scratch* sur les mathématiques montrent elles aussi ces faiblesses.

La revue de Hickmott Prieto-Rodriguez & Holmes (2017)

La revue sur les effets de la pensée informatique sur les mathématiques de Hickmott et ses collègues (2017), montre que 27% des 393 études sélectionnées sont liées aux mathématiques, mais seulement onze d'entre elles font explicitement le lien entre pensée informatique et mathématiques, sur la base d'analyses quantitatives utilisant les résultats d'apprentissage. Cependant, quatre de ces études ne fournissent que des analyses statistiques descriptives, qui ne permettent pas d'établir des liens de causalité entre l'utilisation de la pensée informatique et apprentissage des mathématiques. Les six études restantes fournissent des analyses statistiques inférentielles, et cinq d'entre elles font état d'un changement dans les résultats d'apprentissage en mathématiques, mais seules trois études comportent un groupe contrôle et un groupe d'intervention.

Ces trois études ne sont pas, elles non plus, dénuées de faiblesses méthodologiques. Ainsi, l'étude de Babbit *et al.* (2015), présente un très faible d'échantillonnage (seulement 19 participants, dont 10 dans le groupe d'intervention). Par ailleurs, elle ne cible pas spécifiquement le lien entre pensée informatique et mathématiques car elle s'intéresse davantage aux effets d'un outil de conception culturellement situé (*Culturally Situated Design Tool*, CSTD).

La deuxième étude est celle de Boyce *et al.* (2011), qui a consisté en deux expériences de camp d'été avec 21 participants du collège et 22 du lycée. Elle s'intéressait surtout à la comparaison des effets d'un jeu et d'un outil en ligne sur la compréhension, la motivation et le plaisir de la géométrie. La pensée informatique était présente dans cette étude dans la mesure où les élèves pouvaient utiliser le concept d'itération dans les deux conditions. Cette conception ne permet pas cependant de déterminer l'effet de la pensée informatique sur la compréhension des concepts mathématiques, car les deux conditions incluaient la possibilité d'utiliser l'itération. Néanmoins, les résultats de cette étude montrent que les concepts mathématiques peuvent être travaillés à l'aide de concepts informatiques.

Enfin, la troisième étude, menée par Calao *et al.* (2015), a testé l'effet de la pensée informatique en utilisant la programmation avec *Scratch* sur la compréhension des mathématiques dans quatre compétences : modélisation, raisonnement, résolution de problèmes et exercice. Les 42 participants âgés de 11 et 12 ans ont été répartis en deux groupes : contrôle (n=18) et expérimental (n=24). L'étude indique des résultats positifs de l'intervention sur les post-scores en mathématiques dans le groupe d'intervention (utilisant *Scratch*) par rapport au groupe de contrôle (utilisant les mathématiques de façon traditionnelle). Cependant, les auteurs de l'étude n'expliquent pas comment les post-tests ont été conçus, ce qui fait que l'on ne peut pas écarter le fait que ces tests aient pu être alignés sur l'intervention, ce qui, nous l'avons vu, biaiserait les résultats. De fait, nous ne pouvons correctement interpréter ces résultats en l'absence d'informations claires.

Ces études apportent des résultats encourageants en termes d'amélioration de la performance mathématique lors de l'utilisation de la pensée informatique comme véhicule d'apprentissage. Malgré cela, trop d'études présentent les faiblesses méthodologiques que nous avons déjà soulevées précédemment : absence de groupe de contrôle, échantillon trop faible, absence de prétests, seulement des observations, absence de mesures de performances. Cela a conduit Hickmott *et al.* (2017) à alerter sur le fait « qu'il y a un manque de recherches quasi-expérimentales reliant l'apprentissage des mathématiques (comme en témoignent les performances académiques des élèves) avec la pensée informatique. » (p.16).

L'étude d'ampleur *ScratchMaths* (2018)

À notre connaissance, seule l'étude *ScratchMaths* (Benton *et al.*, 2018 ; Boylan *et al.*, 2018), une intervention de deux années auprès de 6 232 élèves âgés de 9 à 11 ans en Angleterre, dispose d'un protocole robuste pour évaluer correctement les effets de la programmation sur l'apprentissage des mathématiques. Cet ECR étudie à la fois les effets de la programmation sur les compétences liées à la pensée informatique et sur les compétences mathématiques. Les compétences en mathématiques ont été évaluées globalement, *via* les résultats aux évaluations nationales en mathématiques (*Key Stage 1*, KS1 et *Key Stage 2*, KS2) à deux reprises : 2 ans avant l'expérimentation en 2013 (KS1) et juste après l'expérimentation en 2017 (KS2). Ces données ont été recueillies auprès de la *National Pupil Database* (NDP). Les aptitudes liées à la pensée informatique ont été évaluées une fois, pendant l'intervention. Le rapport d'intervention *ScratchMaths* (Boylan *et al.*, 2018) indique peu d'effet de la programmation sur la pensée informatique (0,10 ET) et aucun effet de la programmation sur l'apprentissage des mathématiques (0,03 ET). Bien que ce protocole soit intéressant pour comprendre l'effet de la programmation sur l'apprentissage dans des conditions écologiques, il ne permet pas d'évaluer précisément comment les compétences peuvent être transférées de la pensée informatique à l'apprentissage des mathématiques.

Les pré et post-tests étaient des évaluations nationales recueillies (KS1) en 2013, deux ans avant la randomisation, et en 2017 pour le KS2. Il s'est écoulé quatre années entre ces deux temps de mesures de performance, pendant lesquelles les enseignants ont mené une multitude d'activités en lien avec le projet, et bien d'autres activités en dehors des sessions de programmation. Les effets mesurés ne permettent pas de distinguer les effets qui relèvent de l'intervention de ceux qui relèvent des activités menées par les enseignants le reste du temps.

ScratchMaths ne permet donc pas d'établir une correspondance étroite entre les contenus spécifiques enseignés et les compétences mathématiques évaluées dans les deux groupes : *Scratch* (groupe d'intervention) et non-*Scratch* (groupe contrôle).

Pour conclure

De très nombreuses recherches ont été conduites sur les effets de la programmation en contexte éducatif. Néanmoins, la plupart d'entre elles s'intéressent uniquement aux effets de la programmation sur le développement des compétences en informatique, parfois à travers les mathématiques. Le peu d'études rigoureuses qui traitent de l'effet de la programmation sur la réussite en mathématiques est plus disparate. Bien que certains résultats de ces études soient encourageants, il reste encore beaucoup à apprendre sur l'utilisation de la pensée informatique dans les salles de classes de la maternelle au lycée (Grover & Pea, 2013).

4. Que retenir ?

Utiliser la programmation pour développer les apprentissages mathématiques a d'abord été mise en œuvre dans les classes de primaire à travers le monde dans les années 70, grâce au déploiement de langages de programmation (textuels) tels que Logo, suivant les idées constructionnistes de Papert (1980 ; 1991). Les résultats issus de cette époque n'ont pas été concluants et la pratique de la programmation en classe s'est progressivement essoufflée. Un des freins relevés à cette époque était lié à la trop grande complexité syntaxique et conceptuelle de ces langages qui n'en facilitaient pas l'accès.

A partir des années 2000, le développement de langages de programmation visuels offre de nouvelles opportunités d'exploiter la programmation à l'école. On parle dès lors davantage de « pensée informatique », concept plus large que la programmation qu'il englobe. Des enjeux éducatifs internationaux sont liés à l'introduction de la pensée informatique dans la plupart des programmes scolaires, qui visent à former des citoyens capables d'évoluer et s'insérer professionnellement dans une société ultra numérisée (Bocconi *et al.*, 2016 ; Wing & Stanzone, 2016 ; Tang *et al.*, 2019). Dans la lignée des idées constructionnistes, ces nouveaux langages offrent la possibilité de satisfaire les exigences des programmes tout en exploitant ces outils pour améliorer les apprentissages mathématiques (Hickmott *et al.*, 2017). *Scratch*, logiciel choisi pour la conception de notre dispositif, est le langage de programmation le plus populaire dans la sphère éducative.

Avec *Scratch*, les nouveaux langages de programmation visuels ont donné lieu au renouvellement des études à propos de la programmation en éducation. Notre revue de littérature s'est appuyée sur les résultats les plus importants concernant les effets de la pensée informatique sur les apprentissages en mathématiques. Plusieurs résultats conduisent à des effets positifs, mais ils sont peu nombreux et relèvent trop peu souvent d'une méthodologie scientifique fiable répondant aux exigences de qualité que se fixe la recherche en éducation fondée sur les données probantes (Hickmott *et al.*, 2017 ; Moreno-León & Robles, 2016). Des recherches supplémentaires sont donc nécessaires, pour évaluer notamment l'effet de l'utilisation de la programmation sur des habiletés spécifiques en mathématiques, en répondant aux critères méthodologiques de la recherche fondée sur les preuves.

Par ailleurs, afin de comprendre les résultats de ces études, il peut être éclairant de s'intéresser aux processus d'apprentissage à l'œuvre dans les situations qui y sont décrites. C'est ce que nous proposons d'aborder dans le chapitre suivant. D'abord, nous traiterons du rôle de la mémoire de travail dans les apprentissages et la nécessaire prise en compte de ses limites. Nous pourrions ainsi juger des effets, positifs et négatifs, que peuvent produire l'utilisation des langages de programmation visuels sur les ressources mémorielles. Nous nous intéresserons ensuite au transfert d'apprentissage : sa réalisation, ses freins et leviers, afin de cerner les implications cognitives du transfert d'apprentissage mathématiques d'une situation de programmation vers une situation traditionnelle.

Chapitre III - Apprendre les mathématiques en programmant : les questions de la mémoire de travail et du transfert d'apprentissage

1. La mémoire, élément clé de l'apprentissage

On peut penser que les langages visuels, en comparaison des langages textuels, simplifient l'accès à la programmation, en libérant les ressources cognitives qui étaient, par exemple, dédiées à la gestion de la syntaxe. Pour mieux appréhender les possibles plus-values des langages visuels en termes de charge cognitive, nous allons nous intéresser au rôle de la mémoire de travail et son fonctionnement, notamment en termes de charge mobilisée dans la construction du savoir.

Depuis les travaux princeps de Baddeley et Hitch (1974), les psychologues s'accordent sur le fait que tout apprentissage mobilise deux composantes de la mémoire : la mémoire de travail et la mémoire à long terme. La mémoire de travail, considérée comme la pierre angulaire du système cognitif (Portrat *et al.*, 2009) permet le traitement et la récupération des éléments nécessaires à la réalisation d'une tâche. Elle est contrainte par ses capacités limitées en espace et en temps (Fayol, 2017). Il y a un consensus sur le fait que trop d'informations produit une surcharge cognitive liée au dépassement des limites de la mémoire de travail.

La mémoire à long terme retient les mots, les concepts, les savoirs autobiographiques et savoir-faire. Le but de tout apprentissage est de modifier la mémoire à long terme (Kirschner *et al.*, 2006), pièce centrale de l'architecture cognitive humaine, où sont stockées les connaissances que nous possédons (Richard & Bissonnette, 2012). La capacité de la mémoire à long terme semble illimitée, ses limites n'étant pas connues à ce jour (Sweller, 2019). Les informations qui y sont stockées sont disponibles sur une très longue période qui peut s'étendre à la vie entière de l'individu (Barrouillet *et al.*, 2008). Elle est le lieu des pensées automatisées, c'est-à-dire ne nécessitant pas de contrôle attentionnel (Portrat *et al.* ; 2009).

Les connaissances y sont stockées selon deux modalités : en réseau sémantique ou en schémas, eux-mêmes structurés en sous-schémas. Le réseau sémantique a trait aux relations entre significations des mots et concepts en mémoire, tandis que les schémas sont maillés en représentations génériques qui organisent les connaissances de façon à ce qu'elles facilitent la compréhension et l'action. Les schémas sont comme des blocs de connaissances ou « *chunks* », mobilisés pour traiter une information (Richard & Bissonnette, 2012 ; Sweller, 1994).

Pour être utilisées, les connaissances issues de la mémoire à long terme sont activées dans la mémoire de travail (Baddeley, 1992), zone tampon, dont la capacité, aussi appelée empan¹², est réduite¹³ à quelques éléments seulement. Un bloc de connaissances en mémoire de travail, n'utilise qu'une unité de la mémoire de travail alors qu'il peut contenir de nombreuses connaissances utiles (Sweller, 1994). Ainsi l'organisation en blocs de la mémoire à long terme permet aux experts de résoudre plus efficacement un problème que les novices (Kirschner *et al.*, 2006), les experts mobilisant à travers leur mémoire de travail *via* leurs blocs de connaissances bien plus d'éléments utiles que les novices ne le peuvent avec leurs propres blocs, moins riches en contenus.

La mémoire de travail maintient les informations perçues qui doivent être traitées, mais celles-ci ne restent disponibles que 5 à 20 secondes seulement selon les individus (Barrouillet, *et al.*, 2008 ; Richard & Bissonnette, 2012). Elle régule l'attention, inhibe les traitements automatisés inappropriés ou la prise en compte d'informations inutiles (Rossi, 2005, cité par Crahay *et al.*, 2010). La mémoire de travail est un système attentionnel, lieu des pensées contrôlées (Baddeley, 1992). Son empan est un prédicteur fort de réussite scolaire notamment des activités cognitives de haut niveau comme le calcul mental (Barrouillet *et al.*, 2008).

¹² L'empan de la mémoire de travail correspond au nombre d'unités que l'individu peut traiter simultanément.

¹³ Entre 5 à 9 éléments selon les personnes. D'après Miller (1956), cité par Sweller (2010), nous ne pouvons stocker plus de 7 nouvelles infos dans notre mémoire de travail et ne pouvons probablement pas en traiter plus de 4 simultanément.

A. Apports de la théorie de la charge cognitive pour éclairer le rôle de la mémoire de travail dans les apprentissages

Nous développons ici les éléments qui permettent de comprendre le rôle de la mémoire de travail sur les apprentissages à travers les exemples et effets présentés par la théorie de la charge cognitive. Cette théorie s'appuie sur les effets produits par le matériel et les instructions d'enseignement sur les ressources mémorielles, et conséquemment, la facilitation ou le frein aux apprentissages. Ces éléments nous permettront de mieux appréhender les effets sur les ressources attentionnelles potentiellement en œuvre lors de l'utilisation de langages de programmation visuels pour faire des mathématiques.

Trois catégories de charges cognitives

Les recherches sur la théorie de la charge cognitive ont apporté de nombreux résultats mettant en lumière l'importance de considérer les limites de la mémoire de travail dans les activités d'apprentissage (Sweller, 1994 ; 2010). Cette théorie est fondée sur la connaissance de l'architecture cognitive selon laquelle l'apprentissage consiste à réorganiser les connaissances sous forme d'acquisition de schémas en mémoire à long terme, processus relativement rapide, puis à automatiser leur utilisation, processus beaucoup plus long (Cooper & Sweller, 1987). La réorganisation de la mémoire à long terme est un processus dans lequel la mémoire de travail joue un rôle important. Limitée à environ 7 unités +/- 2 la mémoire de travail est mobilisée pour activer des informations diversement utiles à l'apprentissage. Selon la théorie de la charge cognitive, certains éléments de l'enseignement peuvent interférer avec l'apprentissage en occupant inutilement l'espace en mémoire de travail. La mémoire de travail « utile » (aux apprentissages) dépendrait directement de la charge cognitive impliquée dans la situation. Si le nombre d'éléments en mémoire de travail dépasse la capacité de celle-ci, l'apprentissage est compromis.

La charge cognitive se définit selon trois types de charges. La charge « intrinsèque » (liée à la complexité de ce qui est à apprendre), la charge « extrinsèque » (liée à la présentation des éléments) et la charge « essentielle » (dédiée à l'apprentissage). La charge intrinsèque (*intrinsic cognitive load*) concerne la complexité des informations (ou interaction des éléments de la situation) à traiter pour réaliser la tâche. L'interaction des éléments correspond à la façon dont leur compréhension dépend (ou non) de la compréhension des autres éléments de la situation

(Sweller, 2010). Certains éléments sont compréhensibles isolément, le niveau d'interaction des éléments est alors faible. En revanche, les éléments qui ne peuvent être compris isolément nécessitent qu'ils soient maintenus consciemment en mémoire simultanément, ainsi que les relations qu'ils entretiennent, pour les traiter. Plus les éléments interagissent, plus ils mobilisent la mémoire de travail pour leur compréhension. Sweller (2010) indique par exemple que l'apprentissage des éléments chimiques est possible indépendamment les uns des autres, le niveau d'interactivité pour cette tâche est donc faible. En revanche, lorsqu'il s'agit de résoudre une équation de type $(a + b) / c = d$, il est impossible de traiter l'élément « a », par exemple, sans tenir compte des autres éléments. Tous les éléments interagissent et doivent être pris en compte dans la résolution de l'équation. Dans cette situation, l'interaction des éléments est élevée ce qui augmente la charge intrinsèque.

La charge intrinsèque ne se limite pas au niveau d'interaction des éléments, mais à la combinaison de ce niveau d'interaction avec le niveau de connaissance de l'individu pour la situation (Sweller *et al.*, 2019). L'interactivité des éléments dépend du niveau de connaissance des apprenants. Il est donc impossible de déterminer la charge intrinsèque d'une activité sans tenir compte du niveau de connaissance de l'individu (Sweller *et al.*, 2019). C'est seulement à niveau de connaissances égales que l'interaction entre les éléments peut être déterminée par les caractéristiques de la situation. Toute évaluation de la charge intrinsèque doit s'appuyer sur les caractéristiques de la situation (interaction des éléments de la situation) et sur celles de l'apprenant (son niveau de connaissances). Puisque la charge intrinsèque dépendant du niveau d'expertise de l'apprenant, les effets s'inversent à mesure qu'il gagne en expertise : ce qui aide un novice est délétère pour un expert et inversement. En termes de charges cognitives, cela signifie que ce qui fait partie de la charge essentielle (utile) pour les uns peut augmenter la charge extrinsèque (inutile) des autres. Cet effet, connu sous la désignation d'effet d'inversion de l'expertise (*expertise-reversal effect*), a été largement étudié comme en témoigne la revue de Kalyuga (2007) qui présente plus de 26 études et 96 tailles d'effets de dispositifs, 48 tailles d'effets sur les apprenants novices, *versus* 48 tailles d'effets sur les experts. Les résultats présentés dans cette revue confirment l'effet d'inversion de l'expertise et soulignent l'importance de tenir compte des connaissances antérieures des élèves pour leur proposer des approches adéquates pour favoriser leurs apprentissages. La charge intrinsèque est difficilement réductible car il faudrait pour cela changer ce qui doit être appris, ou changer le niveau de connaissance de l'apprenant.

La plupart des apprentissages mathématiques présentent un fort niveau d'interactivité des éléments (Sweller, 1994). Par exemple, la multiplication par « b » des deux membres de l'égalité $a/b=c$, implique un grand nombre d'éléments en interaction : le numérateur du côté gauche est inchangé (« a »), tandis que le dénominateur « b » disparaît, et vient se multiplier au membre de l'égalité de droite (« cb »). Et pour que l'élève comprenne cela, il faut qu'il comprenne les étapes de la manipulation en passant par les étapes intermédiaires ($a/b=c \Leftrightarrow a*b/b=c*b \Leftrightarrow a=cb$ car $b/b=1$). Cette manipulation, relativement triviale, présente un taux d'interactivité assez élevé (Sweller, 1994). De la même façon, les activités de programmation textuelles seraient coûteuses cognitivement du fait du fort taux d'interactivité des éléments (Berssanette & de Francisco, 2021).

La charge extrinsèque, (*extraneous cognitive load*) correspond à la façon dont les éléments sont présentés et ce que l'apprenant doit faire pour réaliser sa tâche. Elle peut et doit être réduite au maximum en limitant les informations parasites, inutiles à l'apprentissage afin de « gagner » de la place au profit des charges utiles. Nous avons vu plus haut que le niveau d'interaction des éléments joue sur la charge intrinsèque. Il s'agit des interactions inévitables (ou irréductibles) de la tâche. L'interaction des éléments introduite par la façon dont est menée l'enseignement peut quant à elle être réduite (Chen *et al.*, 2015) et impacte la charge extrinsèque. Les procédures pédagogiques efficaces réduisent la charge extrinsèque en diminuant le niveau d'interaction des éléments de la situation, celles qui sont inefficaces l'augmentent (Sweller *et al.*, 2019). Par exemple, si l'interactivité des éléments liée à la situation est élevée, les exercices résolus (*worked examples*) permettent de réduire la charge cognitive extrinsèque, contrairement aux activités de résolution de problèmes sans guidage (Chen *et al.*, 2015).

Au contraire de la charge intrinsèque et de la charge extrinsèque, la charge essentielle (*germane cognitive load*) est déterminée uniquement par les caractéristiques de l'apprenant et dépend des ressources de la mémoire de travail qu'il peut consacrer aux interactions entre les éléments (Sweller, 2010). Elle concerne les efforts cognitifs de l'individu dédiés à l'acquisition des connaissances. Si la charge cognitive totale, somme des charges intrinsèque et extrinsèque, excède les ressources en mémoire de travail, l'élève n'aura pas suffisamment de ressources mémorielles pour traiter la charge essentielle, c'est-à-dire pour procéder correctement à l'apprentissage (Sweller, 2010). Dans ce cas, la probabilité que des changements utiles, en termes d'apprentissages, soient réalisés en mémoire à long terme est très faible. Cette charge cognitive ne représente pas une source de charge cognitive, comme celles précédemment

décrites ; elle correspond aux ressources mémorielles disponibles pour traiter la charge cognitive intrinsèque (Sweller *et al.*, 2011).

En résumé, plus la situation présente pour l'individu une charge extrinsèque forte, moins il aura de ressources mémorielles disponibles pour traiter la charge intrinsèque liée à l'interactivité des éléments *via* sa charge essentielle, et moins il pourra apprendre. L'objectif de la théorie de la charge cognitive est d'identifier ce qui est cognitivement coûteux pour l'apprentissage, déterminer la source responsable de ce coût et les solutions pour le diminuer au maximum, en manipulant la source - intrinsèque ou extrinsèque – désignée (Sweller, 2010). C'est avant tout la charge extrinsèque, qui doit être réduite au maximum et que les éducateurs peuvent manipuler pour favoriser les apprentissages.

Schémas et automatismes, construction de l'apprentissage en mémoire à long terme

Le traitement de la charge intrinsèque liée à l'interactivité des éléments *via* la charge essentielle conduit à l'apprentissage, et donc la montée en expertise si la mémoire à long terme est transformée. Si rien n'a été modifié, il n'y a pas d'apprentissage.

La mémoire à long terme stocke ses connaissances du monde sous forme de schémas organisés en réseaux heuristiques qui délivrent des connaissances structurées des concepts connus et facilitent la compréhension et l'action de l'individu sur le monde. Ces schémas sont extrêmement utiles car ils permettent de mobiliser sur une seule unité d'espace de mémoire de travail toutes les informations qu'ils contiennent, permettant ainsi de contourner les limites de la mémoire de travail (Sweller, 1994). Selon Cooper & Sweller (1987), l'acquisition de schémas permet de grouper les problèmes à l'intérieur de catégories au sein desquelles le même type de solution peut être utilisé.

L'acquisition de schémas se fait progressivement, par étapes, et non selon un fonctionnement binaire « tout ou rien » (Sweller, 1994, p.297). En début d'apprentissage, le traitement des informations contenues dans les schémas est « contrôlé » car il nécessite un effort important et conscient et la réussite n'est pas toujours assurée. Plus le sujet possède de schémas à mobiliser sur une même notion, plus il se rapproche de l'expertise (Sweller, 1994). Avec l'expertise, les schémas d'acquisition peuvent être appliqués à une plus vaste étendue de catégories de problèmes (Cooper & Sweller, 1987). Les répétitions vont affermir l'utilisation des schémas qui vont s'insérer dans la structure en réseaux de la mémoire à long terme. L'effort

lié à leur utilisation est alors de moins en moins conscient, donc de moins en moins coûteux cognitivement : c'est l'automatisation. Plus l'utilisation des schémas est automatisée, meilleur est l'apprentissage. L'acquisition d'automatismes nécessite de nombreux entraînements et la confrontation à des situations de résolution de problèmes variées. L'automatisation facilite le transfert d'apprentissage que nous traiterons dans une prochaine partie.

Effets d'instruction sur les apprentissages

Sweller et ses collaborateurs ont étudié de nombreux effets de présentation de la tâche qui jouent sur la charge cognitive et affectent, négativement ou positivement, les apprentissages. Parmi ces effets, quatre sont pertinents dans le cadre de notre étude impliquant des activités de programmation : l'effet des éléments isolés interagissant, l'effet d'attention partagée, l'effet des exercices résolus et l'effet de complétion. Les deux premiers sont des effets indésirables, des points de vigilance à considérer qui peuvent se produire lors de la réalisation d'une activité et entraver les apprentissages. Les troisième et quatrième effets concernent des pratiques pédagogiques qui peuvent être utilisées pour améliorer une situation d'apprentissage qui serait trop coûteuse cognitivement.

L'effet des éléments isolés interagissant (*Isolated-interacting elements effect*) correspond à une tâche dont les éléments sont des informations nouvelles qui présentent un niveau d'interaction si important, qu'il est impossible de les traiter, pour un novice, sans que cela dépasse sa capacité en mémoire de travail. La programmation est une activité qui produit un haut niveau d'interactivité des éléments parce qu'elle nécessite la maîtrise de plusieurs domaines concomitamment (syntaxe, concepts, fonctionnement de la machine), c'est pourquoi elle est considérée comme coûteuse cognitivement (Bersanette & de Francisco, 2021). L'emploi de la programmation pour développer des apprentissages dans d'autres disciplines suggère un niveau d'interaction plus élevé encore, et l'effet des éléments isolés interagissant peut se produire. Dans ce cas, une solution pour permettre l'apprentissage consiste, dans un premier temps, à apprendre isolément ces éléments nouveaux à travers des situations d'apprentissage propres, afin que leur apprentissage génère des schémas d'acquisition. Il s'agit d'apprentissages intermédiaires, nécessaires mais non suffisants pour acquérir la connaissance finale, qui fait intervenir les éléments isolés et également leur interaction (Sweller, 2010 ; Sweller *et al.*, 2019). C'est pourquoi dans un second temps, la situation d'apprentissage doit intégrer les différents éléments pour permettre l'apprentissage de leurs interactions.

L'effet d'attention partagée (*split-attention effect*) se produit lorsque plusieurs sources d'information ne peuvent pas être comprises isolément (Sweller, 2010 ; 2011 ; Sweller *et al.*, 1998 ; Sweller *et al.*, 2019). Pour illustrer cet effet, Sweller (2011) présente une tâche d'exercice résolu qui consisterait à comprendre les solutions d'un problème géométrique dont la figure est présentée, en utilisant des énoncés solutions liés aux caractéristiques de la figure. La figure seule ne permet pas de comprendre quels sont les problèmes à résoudre, de même les énoncés ne sont pas compréhensibles sans la figure. Si la figure et l'énoncé sont présentés dans deux espaces différents, l'élève va devoir chercher à faire correspondre les données de l'énoncé aux caractéristiques de la figure. Cet aller-retour énoncé-figure, pour intégrer mentalement ces deux composantes, va imposer une charge inutile à la mémoire de travail correspondant à l'effet d'attention partagée. Par exemple, dans le cas de notre étude, il arrive que les élèves soient confrontés à la présentation de plusieurs sources d'informations non intégrées comme un travail sur écran à exploiter pour résoudre une tâche sur papier. Pour éviter que l'intégration des éléments soit faite mentalement par les apprenants, activité coûteuse cognitivement, il est recommandé de présenter les informations dans un format intégré, c'est-à-dire regroupant les informations nécessaires à la compréhension dans un même espace visuel (Sweller, 2010). Pour le cas de la figure géométrique précédemment présenté, il s'agirait d'intégrer les énoncés solutions dans le même espace que la figure, aux emplacements où ils sont pertinents (Sweller, 2011).

L'effet de l'exercice résolu (*worked example effect*), très largement répliqué, offre une alternative à la résolution de problème de façon traditionnelle. Il y est question d'étudier la solution du problème plutôt que chercher sa solution par ses propres moyens (Sweller, 2010 ; Sweller *et al.*, 2019). La résolution de problème est une tâche à haut niveau d'interaction des éléments, qui génère une forte charge cognitive chez les novices. Les exercices résolus permettent de réduire le nombre d'interactions entre les éléments qui doivent être traités simultanément. Leur utilisation est pertinente avec les novices, qui n'ont pas encore acquis de schémas dans leur mémoire à long terme, correspondant à la situation étudiée. Face à la résolution d'un problème nouveau, l'apprenant conçoit aléatoirement des pistes de résolutions qui ne sont pas souvent efficaces. L'exercice résolu place l'apprenant directement face aux stratégies efficaces pour résoudre le type de problème auquel il est confronté. Sweller (2011) reprend son exemple de la recherche de « a » dans l'équation $(a + b) / c = d$. Lors d'une résolution traditionnelle, le novice cherche différentes solutions dont isoler « a », en retirant « b », soit en le soustrayant, soit en le divisant par exemple. Ces tâtonnements ne conduisent

pas à la résolution du problème. L'exercice résolu facilite l'apprentissage de la résolution efficace pour ce type d'équation en proposant explicitement les différentes étapes de la résolution. A mesure que le niveau d'expertise de l'apprenant augmente, il construit des schémas d'acquisitions qui réduisent la charge cognitive liée aux interactions entre les éléments. Dès lors, il peut mobiliser ces schémas pour résoudre les mêmes problèmes, cette fois-ci de façon traditionnelle (Sweller, 2011). Les exercices résolus présentent néanmoins un défaut car on ne peut être assuré que l'élève ait fait l'effort d'étudier convenablement la solution présentée. S'il ne s'engage pas dans la réflexion attendue, il passera à côté de l'apprentissage et l'enseignant peut ne pas s'en apercevoir, la seule production alors attendue étant un effort cognitif.

A mi-chemin entre les exercices résolus (pour les novices) et les exercices de résolution de problèmes (pour les experts), les problèmes de complétion (*completion problem*) sont une variante des exercices résolus. Ils permettent de s'assurer de l'engagement cognitif des élèves en leur proposant une solution partielle du problème, à compléter pour atteindre le but annoncé (Sweller *et al.*, 2019). Nous l'avons vu, l'exercice résolu convient davantage aux novices. En raison de l'effet d'inversion d'expertise, il est important d'ajuster le matériel pédagogique au niveau des élèves pour produire les meilleurs effets sur leurs apprentissages (Kalyuga, 2007 ; Sweller, 2011 ; Sweller *et al.*, 2019). L'enseignant peut ainsi programmer des apprentissages qui vont s'appuyer sur un *continuum* de problèmes de complétion : d'abord des exercices résolus (problèmes de complétion à solution complète), puis des problèmes de complétion (à solution partielle), pour aboutir à la résolution de problèmes traditionnels (problèmes de complétion à solution absente).

Critiques et limites de la théorie de la charge cognitive

Des critiques conceptuelles et méthodologiques ont été soulevées, depuis une quinzaine d'années, à propos de la théorie de la charge cognitive. Ainsi, De Jong (2010) indique que la théorie est discutable conceptuellement car elle serait infalsifiable ; l'existence de la charge essentielle permettrait d'expliquer des résultats empiriques contradictoires *a posteriori*. « En particulier, le fait que la charge cognitive soit composée de trois éléments différents qui sont "bons" (essentielle), "mauvais" (extrinsèque) ou simplement présents (intrinsèques) signifie

que chaque résultat s'inscrit dans le cadre de la théorie post-hoc¹⁴ » (De Jong, 2010, p.125). D'après l'auteur, il manque à ce jour des outils valides de mesure de la charge cognitive qui permettraient de valider les interprétations des différentes études qui utilisent ce cadre théorique.

Cette dernière remarque nous amène au deuxième point de critique de la théorie de la charge cognitive, contestée méthodologiquement quant aux mesures employées pour l'évaluer (Schnotz & Kürschner, 2007). La charge cognitive se mesure principalement de trois façons : par questionnaires autorapportés, par des mesures physiologiques et par des scores de performances (Eggemeier, 1988, cité par Schnotz & Kürschner, 2007), dont les limites sont précisées ci-après :

- **Les mesures autorapportées** s'appuient sur des échelles de mesure de la difficulté perçue, ce qui suppose que les répondants soient capables d'évaluer leur effort mental pendant la tâche. Les échelles utilisées pour cela peuvent différer d'une étude à l'autre. D'après Schnotz et Kürschner (2007) ces mesures sont trop dépendantes du contexte de l'individu ce qui réduit leur fiabilité.
- **Les mesures physiologiques** reposent sur l'hypothèse que les changements cognitifs induisent des changements physiologiques comme la taille de la pupille, la fréquence cardiaque ou l'activité cérébrale. Ces mesures sont de plus en plus faciles à utiliser grâce au développement d'appareils de mesure mobiles et ont l'avantage de ne pas être autorapportées. Cependant, elles ne peuvent être exploitées en milieu écologique et peuvent être des réactions émotionnelles en réponse à d'autres stimuli. De fait, Schnotz et Kürschner (2007) considèrent que ces outils mesurent davantage la charge émotionnelle que cognitive.
- **Les scores de performances ou méthode de la double-tâche** (*dual task methodology*) soumettent à l'apprenant la résolution de deux tâches - une primaire et une secondaire - en simultané. La tâche secondaire peut être une tâche rythmique comme taper du pied pendant la réalisation de la tâche primaire. Plus la tâche primaire

¹⁴ "In particular, the fact that cognitive load is composed of three different elements that are "good" (germane), "bad" (extraneous), or just there (intrinsic) means that every outcome fits within the theory post-hoc." (De Jong, 2010, p.125)

va être couteuse en ressources mémorielles, moins la seconde tâche va être réussie. La diminution de la performance à la tâche secondaire est utilisée comme un indicateur de la charge cognitive de la tâche primaire (Brüncken *et al.* 2003, cité par Schnotz & Kürschner, 2007). L'avantage de cette mesure est qu'elle n'est pas autorapportée. En revanche il est possible que l'apprenant favorise la tâche secondaire au détriment de la tâche primaire ce qui produira une mesure erronée.

Le point de critique majeur commun à ces méthodes est qu'elles ne permettent d'évaluer la charge cognitive que globalement, sans distinction de sources (intrinsèque, extrinsèque, essentielle). Les mesures physiologiques et les scores de double tâches ne peuvent permettre cette distinction. En revanche, les questionnaires le pourraient. Pour autant, selon Schnotz et Kürschner (2007), il est illusoire de prétendre que les répondants sont en capacité de distinguer les différents types de charge au travers d'un questionnaire. Pour ces auteurs, cela rend impossible la mesure des différentes charges cognitives par questionnaire et constitue une limite conceptuelle.

En réponse aux critiques méthodologiques, Sweller *et al.* (2019) indiquent d'abord que la technique de mesure autorapportée (ou subjective) introduite par Paas (1992) pour mesurer la charge cognitive globale possède de bonnes propriétés psychométriques, et que ses résultats sont corrélés aux résultats obtenus par les mesures physiologiques, tout en présentant une meilleure sensibilité et en étant plus facile d'utilisation. Ils soulignent que l'outil de Paas (1992) est parfois détourné, soit que le nombre de catégories utilisées est moindre, soit que les termes utilisés sont modifiés ou encore que le nombre de temps de mesure est réduit à un seul. Ces variations compromettent la validité de l'outil.

Ensuite, concernant la critique d'un outil ne permettant de mesurer que la charge cognitive globale, Sweller *et al.* (2019) rapportent que des outils permettant de distinguer les charges intrinsèques et les charges extrinsèques comme celui de Leppink *et al.* (2013, cité par Sweller *et al.*, 2019) ont été expérimentés et présentent des résultats prometteurs bien que nécessitant d'accumuler plus de preuves empiriques pour être adoptés. Il semble donc clair que la mesure de la charge cognitive soit un questionnement d'actualité. Pour autant il n'y a pas de consensus qui permette de trancher sur l'impossibilité de l'élaboration d'un tel outil.

Enfin, bien que la théorie de la charge cognitive rencontre les oppositions que nous venons de présenter, elle a permis de mettre au jour un ensemble d'effets et de principes fondés en majorité sur des données probantes, qui reposent notamment, sur le rôle essentiel de la mémoire de travail et sa capacité limitée, deux éléments incontestés et cruciaux dans le processus d'apprentissage (Baddeley & Hitch ; 1974 ; Chen *et al.*, 2015 ; Sweller, 1994 ; 2010 ; 2011 ; Sweller *et al.*, 1998 ; Sweller *et al.*, 2019).

B. Effet des langages visuels de programmation sur la mémoire de travail

La programmation, une activité cognitivement coûteuse.

La « programmation informatique est intrinsèquement complexe, étant considérée comme une compétence hautement cognitive qui exige la maîtrise de plusieurs domaines ; par conséquent, son apprentissage implique un niveau élevé d'interactivité entre les éléments¹⁵ » (Berssanette & de Francisco, 2021, p.8). La revue de Quian et Lehman (1985) qui porte sur les difficultés rencontrées par les novices lors de l'introduction de la programmation souligne également ce propos. L'apprentissage de la programmation s'accompagne de changements cognitifs dans trois domaines différents : la connaissance de la syntaxe, les connaissances conceptuelles et les connaissances stratégiques.

Les éléments de syntaxe seraient relativement bien maîtrisés lors des activités introductives de la programmation, présentant peu de difficulté, dont le but serait avant tout de mettre en pratique l'utilisation correcte de la syntaxe comme les parenthèses, les deux points, les points-virgules, les guillemets doubles, etc. L'étude de Anderson et Jeffries (1985, cités par Qian & Lehman, 2017) montre cependant que les étudiants ont tendance à omettre des éléments de code lorsque la tâche se complexifie. Les erreurs de syntaxe sont les plus courantes et également les plus faciles à identifier et corriger (Quian & Lehman, 2017).

¹⁵« *computer programming is intrinsically difficult, being considered as a highly cognitive skill, which requires multiple skill mastery, and, therefore, learning it implies a high level of element interactivity.* » (Berssanette & de Francisco, 2021, p.8)

Les erreurs conceptuelles, plus complexes, relèvent d'une méconnaissance du fonctionnement de la machine, notamment concernant la gestion des données (provenance et stockage). Par exemple, les apprenants peuvent ne pas avoir compris qu'une variable simple ne stocke qu'une valeur à la fois ou encore ne pas saisir le fonctionnement des instructions conditionnelles ou des instructions boucles (quelle partie du programme est exécutée ? Selon quelle condition ?).

Enfin viennent les difficultés stratégiques, qui relèvent de l'expertise du programmeur, elle-même fortement corrélées aux connaissances syntaxiques et conceptuelles, qui ne sont toutefois pas suffisantes à elles seules pour développer des connaissances stratégiques en programmation. Un exemple de construction stratégique sera l'emploi d'une boucle plutôt que la juxtaposition d'une instruction identique un certain nombre de fois. Ces compétences relèvent également des procédures de test et de débogage des programmes.

De nombreuses difficultés rencontrées par les apprenants lors des activités de programmation sont des malentendus (*misconceptions*) causés par leurs connaissances antérieures, comme le langage naturel, les connaissances mathématiques ou les préconceptions du fonctionnement de la machine (Qian & Lehman, 2017). Par exemple l'usage du mot « *and* » (« et »), opérateur booléen dans beaucoup de langages de programmation, peut interférer avec l'usage qui en est fait d'ordinaire dans le langage courant, et peut conduire à des erreurs. D'ailleurs, la capacité en programmation des élèves chinois est significativement corrélée à leur niveau de connaissance en anglais (Qian & Lehman, 2016, cités par Qian & Lehman, 2017). Les connaissances antérieures en mathématiques peuvent contrarier l'apprentissage de la programmation, par exemple lorsqu'il s'agit d'utiliser des variables, qui doivent être précédemment déclarées et typées en programmation, ce qui n'est pas le cas en mathématiques. Enfin, la méconnaissance du fonctionnement de la machine peut entraver l'apprentissage de la programmation car les élèves ne comprennent pas l'utilité de certaines étapes, comme notamment la déclaration des variables pour y avoir recours à différents niveaux du programme. Ces sources d'erreurs potentielles montrent que la programmation implique la maîtrise de compétences issues de différents domaines, ce qui participe au fort taux d'interactivité des éléments de l'activité de programmation (Berssanette & de Francisco, 2021).

Réduire la charge cognitive liée à la programmation par des composants visuels.

Afin de surmonter ces difficultés, différentes approches pédagogiques sont possibles, comme travailler à partir d'exemples de programmes bien conçus et clairs ou encore l'enseignement explicite des bonnes stratégies de programmation (Qian & Lehman, 2017).

En parallèle, chercheurs et éducateurs ont conçu des outils pour réduire les erreurs de syntaxe. Il s'agit par exemple de compilateurs intelligents qui détectent l'erreur (absence de guillemets, points-virgules, parenthèses, etc.) qu'ils mettent en évidence pour faciliter son identification et sa correction. D'autres systèmes, comme la programmation visuelle, encapsulent le code dans des blocs-codes pour contourner la gestion de la syntaxe, ils offrent en outre une meilleure accessibilité aux concepts de programmation (Lye & Koh, 2014).

Ces éléments de présentation et de facilitation de la programmation permettent de libérer une partie de la charge cognitive liée à l'effet des éléments isolés interagissant, comparativement aux anciens langages (Logo, Basic, Pascal, etc.). Il devient alors davantage possible pour les élèves de mobiliser leur attention sur la résolution du problème posé et les structures impliquées dans la programmation (Lye & Koh, 2014). Ces avancées facilitent l'accès à la programmation, qui était jusqu'alors considéré comme difficile, exigeant et long (Robin et Rountree, 2003, cités par Tricot, 2020).

Des environnements de programmation attrayants... mais potentiellement distractifs.

Les environnements de programmation visuels ne présentent cependant pas uniquement des bénéfices. Conçus pour attirer les jeunes enfants vers la programmation, ils intègrent de nombreuses fonctionnalités afin de capter une grande variété d'intérêts. Ainsi il est facile de « personnaliser » ses projets *Scratch* en insérant des images, de la musique, des vidéos, en enregistrant des voix, etc. (Resnick *et al.*, 2009). Si ces fonctionnalités attirent les jeunes programmeurs, elles peuvent les distraire de leur tâche et affecter leurs apprentissages.

Ainsi, Mason & Cooper (2013) se sont intéressés au potentiel distracteur d'un logiciel de programmation visuelle. Ils ont utilisé pour cela le langage *Lego Mindstorms NXT* auprès de 32 élèves de 11 à 13 ans, répartis en deux groupes. Le premier groupe travaillait sur une interface partielle de *Lego Mindstorms NXT*, c'est-à-dire une interface présentant uniquement les fonctionnalités dont les élèves avaient besoin pour réaliser leurs tâches. Le second groupe travaillait sur la version complète de cette interface. A la suite de ce travail, un questionnaire aux élèves permettant de mesurer les perceptions de difficulté vis-à-vis de la programmation, leur sentiment d'auto-efficacité en programmation et une auto-évaluation de leur charge cognitive ainsi que des évaluations de performances en programmation ont été mises en œuvre. Puis, les élèves ont travaillé dans un autre environnement de programmation visuelle (*Alice*) et un nouveau questionnaire évaluant les mêmes construits que précédemment leur a été soumis.

Les élèves du groupe avec environnement partiel ont obtenu des résultats significativement meilleurs dans tous les domaines à l'exception de la charge cognitive, dont l'outil de mesure était peut-être de mauvaise qualité selon les auteurs et on sait à ce propos qu'il que les outils de mesure de charge cognitive font débat (De Jong, 2010 ; Schnotz & Kürschner, 2007). Néanmoins, ces résultats montrent que dans le cadre de l'apprentissage de la programmation, un environnement épuré facilite les acquisitions et améliore les perceptions de compétence en informatique, en cohérence avec la théorie de la charge cognitive qui informe que les distractions inutiles de l'environnement sont des sources de charges qui peuvent entraver les apprentissages et le transfert d'apprentissage (Sweller, 2019).

2. Le transfert d'apprentissage

A. Définition

Le but de tout apprentissage de connaissances, compétences ou stratégies, est de rendre possible leur mobilisation dans des situations variées (Hattie *et al.*, 2016 ; Perkins & Salomon, 1992 ; Richard & Bissonnette, 2012 ; Scherer *et al.*, 2019). « Le transfert fait référence aux connaissances appliquées de nouvelles façons, dans de nouvelles situations, ou dans des

situations familières avec un contenu différent »¹⁶ (Schunk, 2012, p.24). Suivant cette définition, notre étude porte fondamentalement sur la question du transfert d'apprentissages car nous analysons dans quelle mesure des connaissances acquises en mathématiques, au cours d'activités de programmation (situation source ou de départ), peuvent être remobilisées dans des situations mathématiques classiques (situation cible ou finale).

Distance : proche ou lointain

Le transfert est défini comme proche lorsqu'il y a un grand chevauchement entre la situation de source et la situation cible, et lointain dans le cas contraire (Perkins & Salomon, 1992 ; Schunk, 2012). Le transfert proche est plus susceptible de se produire que le transfert lointain, car il implique davantage d'éléments communs entre la situation de départ et la situation finale (Perkins & Salomon, 1992 ; Scherer *et al.*, 2019). Dans la plupart des cas, il n'y a pas de critères clairs qui permettent d'établir objectivement la distance, proche ou lointaine, d'un transfert d'apprentissage, dans une situation de travail par rapport à une autre (Cooper & Sweller, 1987).

Néanmoins certaines tentatives d'objectivation de la distance de transfert entre deux situations ont été proposées, comme le modèle de Klahr et Chen (2011). Ce modèle (figure 5), conceptualise la distance de transfert d'apprentissage selon trois axes : 1) l'intervalle temporel entre le moment d'apprentissage et celui de l'utilisation des connaissances ; 2) la similarité de la tâche d'apprentissage avec la tâche cible ; 3) la similarité contextuelle entre la tâche d'apprentissage et la tâche cible. Les auteurs notent que la forme la plus courante d'évaluation du transfert concerne des situations portant sur des contextes proches, des tâches similaires et des temps courts. En appliquant ce cadre à l'examen d'études portant sur le transfert d'apprentissage de stratégies de résolution de problèmes, les chercheurs ont conclu que le transfert d'apprentissage se produit davantage lorsqu'il est proche (selon les trois dimensions), lorsque l'enseignement qui s'y rapporte est explicite (dans le cas du transfert proche surtout) et lorsque les enfants sont âgés.

¹⁶ “*Transfer refers to knowledge and skills being applied in new ways, with new content, or in situations different from where they were acquired.*” (Schunk, 2012, p.24).

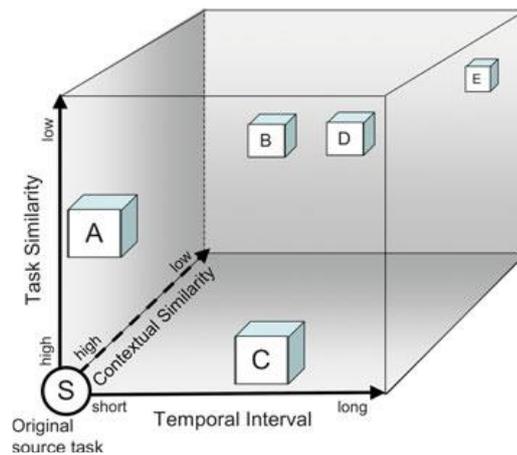


Figure 5. Modèle du transfert tridimensionnel de Klahr et Chen (2011).

Mécanismes : conscient ou automatique

Deux mécanismes conduisent au transfert. Le premier est automatique, inconscient, dit transfert « *low-road* » (que nous traduisons par « bas niveau de conscience »), nécessitant une longue période de pratique, sur la base de connaissances apprises dans divers contextes. Le second dit « *high-road* » (que nous traduisons par « haut niveau de conscience ») est obtenu au prix d'efforts cognitifs conscients et volontaires pour utiliser les connaissances dans un sens plus général que celui dans lequel elles ont été apprises, afin d'extraire d'une situation d'apprentissage sa structure commune, ses éléments communs avec d'autres situations (Salomon & Perkins, 1989). Pourtant, la reconnaissance des éléments communs nécessaire à la réalisation du transfert de haut niveau de conscience ne va pas de soi : par exemple, les enfants ne reconnaissent que rarement les similitudes entre des problèmes mathématiques présentés dans des contextes différents (Fuchs *et al.*, 2003).

Un enseignement explicite aide les élèves à voir le transfert potentiel de l'apprentissage d'une situation à une autre (Bransford *et al.*, 2000). Par exemple, l'enseignement explicite de la compétence à transférer peut produire des effets positifs significatifs de transfert (Salomon, Perkins, 1989). C'est le cas de l'étude de Klahr et Carver (1988) qui ont observé des gains significatifs de transfert d'apprentissage de la compétence de débogage, auprès de 22 élèves de classe de grades 3 à 6 (du CE2 à la 6^e), suite à l'enseignement explicite de cette compétence.

En outre, l'enseignement explicite du transfert, c'est-à-dire des techniques qui le permettent, favorise le transfert (Fuchs *et al.*, 2003). Ainsi, dans leur étude, Fuchs *et al.* (2003) ont comparé le transfert d'apprentissage pour améliorer la résolution de problèmes en mathématiques chez 450 élèves de 3^e grade (CE2) selon quatre conditions d'enseignement (6 enseignants par groupe). Les élèves recevaient tous le même temps d'enseignement des mathématiques. Le premier groupe était le groupe contrôle, à qui était dispensé un enseignement ordinaire, comparable à ce qui se fait habituellement. Dans le groupe 2, les élèves recevaient directement l'enseignement de la solution. Dans les groupes 3 et 4, les élèves recevaient une solution partielle (groupe 3) ou complète (groupe 4) plus un enseignement explicite du transfert. L'enseignement explicite du transfert consistait à sensibiliser les élèves aux liens entre les problèmes nouveaux et familiers par deux voies : le développement de l'abstraction et le développement de la métacognition. Le développement de l'abstraction est soutenu par un enseignement qui familiarise les élèves avec ce qu'est le transfert et les encourage à reconnaître les structures (abstractions) communes à la résolution de problèmes en apparence différents qui font pourtant appel à la même famille de solutions. En d'autres termes, les élèves sont amenés à regrouper les problèmes nécessitant les mêmes méthodes de résolution. Concernant le développement de la métacognition, les élèves sont explicitement encouragés à anticiper de façon prospective dans quelles situations ils pourront être amenés à utiliser une solution familière pour résoudre de nouveaux problèmes. De la même façon, face à un nouveau problème, les élèves sont encouragés à chercher parmi les solutions familières maîtrisées, celles qui pourraient être utiles dans la situation nouvelle (rétrospection).

Le transfert d'apprentissage était évalué selon trois modalités de distance : transfert immédiat, proche et éloigné. Les chercheurs ont ainsi montré que l'enseignement explicite du transfert favorise le transfert proche, car les résultats en transfert proche du groupe 4 (enseignements des solutions et du transfert) étaient significativement et nettement supérieurs comparativement à ceux du groupe 2 (enseignement de la solution uniquement).

La connaissance de la structure cognitive apporte des éléments de compréhension au processus de transfert d'apprentissage. Ainsi, le transfert consiste à activer des connaissances au sein du réseau de connaissances ou schémas d'acquisitions. Plus il y a de liens entre les éléments, plus le transfert est facilité. L'acquisition de schémas est donc un important facilitateur de transfert. Ce mécanisme permet de grouper les problèmes à l'intérieur de catégories au sein desquelles le même type de solution peut être utilisé (Cooper & Sweller,

1987). Avec l'expertise, les schémas d'acquisition peuvent être appliqués à une plus vaste étendue de catégories de problèmes.

Le parallèle entre transfert et mémoire à long terme semble clair. Dans un premier temps d'apprentissage, les élèves construisent des connaissances qui viennent s'organiser en schémas au sein de la structure des connaissances déjà existantes. A ce stade, le transfert de haut niveau de conscience (*high road*) est possible, au prix d'une mobilisation consciente des schémas utiles pour la réalisation de la tâche cible. Après de nombreuses répétitions, la mobilisation du schéma s'automatise. Le transfert de bas niveau de conscience (*low road*) lointain, inconscient est alors possible. La charge cognitive diminue quand les schémas sont automatisés (Sweller & Cooper, 1987).

B. Des attentes en termes de compétences générales

Le transfert de compétences liées à la pensée informatique, *via* les activités de programmation est un argument récurrentement avancé (Galand, 2020) qu'exprime Wing en ces termes : « les avantages éducatifs de pouvoir penser de manière computationnelle - en commençant par l'utilisation d'abstractions - améliorent et renforcent les compétences intellectuelles, et peuvent donc être transférées à n'importe quel domaine » (2011, p.7). Ainsi, certains chercheurs et décideurs s'attendent à ce que la programmation favorise le développement de compétences générales, c'est-à-dire transférables à de multiples situations. Il y a vis-à-vis de la pensée informatique une attente mêlée d'intuition que son exercice stimulerait la formation d'une pensée propre à la résolution de problèmes (Drot-Delange *et al.*, 2019 ; Papert, 1993 ; Resnick *et al.*, 2019 ; Scherer, 2016 ; Schute *et al.*, 2017).

Cette croyance reprend les idées de la doctrine de Thorndike (1923) dont les recherches pionnières sur la « discipline mentale » avaient pour objectif de montrer que l'exercice de certaines compétences aurait des effets sur des capacités cognitives générales. Cette idée a rencontré beaucoup de succès du temps de Thorndike et ressurgit récurrentement. Thorndike a par exemple cherché à mettre en évidence l'effet de l'apprentissage du latin sur le développement de compétences intellectuelles générales ; mais ses travaux n'ont pas conclu à de tels effets. S'il existe trop de différences entre les domaines (ici latin et autres disciplines) le transfert est difficile. Suite à cela, Thorndike a initié de nouveaux travaux, sur le transfert d'apprentissage dans le cadre de la théorie des éléments communs. Thorndike a alors indiqué

que le transfert ne se produit d'une situation à un autre que quand celles-ci ont des éléments communs, qui fonctionnent comme des stimuli et appellent des réponses similaires.

Si l'on considère que la pensée informatique permet de développer des compétences en résolution de problèmes, cela revient à considérer la capacité à résoudre des problèmes comme une compétence générale qui se forgerait notamment par la pratique d'activités utilisant la pensée informatique. Les éléments que nous avons exposés sur le transfert d'apprentissage indiquent que cela n'est pas évident : les études sur le transfert de compétences générales, comme la résolution de problèmes, dans le cadre d'activités de programmation n'ont en grande majorité pas donné de résultats positifs jusqu'ici (Galand, 2020 ; Guzdial, 2019 ; Perkins & Salomon, 1992).

Certains arguments viennent étayer l'idée que la pensée informatique permette l'entraînement des capacités liées à la résolution de problèmes. Ainsi, selon le cadre proposé par l'OCDE (OECD, 2014), les processus à l'œuvre dans la résolution de problèmes sont les suivants : (1) l'exploration et la compréhension des informations du problème, (2) la représentation et la formulation, qui concernent la capacité à représenter les données dans une forme appropriée permettant d'établir les liens entre les différents facteurs qui vont permettre la résolution du problème, (3) la planification et de l'exécution, qui consistent en prévoir les étapes de résolution du problème et les réaliser, et enfin (4) la vérification, qui correspond aux réactions de l'utilisateur face aux retours d'information qu'il reçoit de sa solution et les stratégies qu'il met en œuvre pour s'y ajuster. Selon Scherer (2016) ces processus présentent de nombreux recouvrements avec les processus nécessaires aux activités de programmation : (1) la recherche d'informations et compréhension de celles-ci, (2) découverte de méthodes et d'algorithmes pour résoudre le problème, (3) évaluation de ces méthodes. Ce recouvrement laisse penser qu'un transfert d'apprentissage est possible entre les deux domaines, bien qu'il y ait peu de preuve pour étayer ce transfert en ce début de XXI^{ème} siècle (Scherer, 2016).

Román-González *et al.* (2017) ont voulu montrer que pensée informatique et résolution de problèmes étaient liés par le fait qu'elles recourent aux mêmes capacités cognitives. Leur étude portait sur 1251 élèves espagnols du grade 5 (CM2) au grade 10 (2nd), elle avait pour objectif d'affiner les outils de mesures de compétences en pensée informatique, mais également d'établir les liens corrélacionnels entre aptitudes en pensée informatique et autres construits psychologiques connexes dont l'aptitude à la résolution de problèmes. Ils ont ainsi présenté une corrélation statistiquement significative entre les performances en la pensée informatique

et l'aptitude à la résolution de problèmes ($r=0,67$). Ces résultats appuient l'idée que la pensée informatique soit liée aux capacités de résolution de problèmes (Román-González *et al.*, 2017). Mais cela n'indique pas qu'il y ait une relation causale, de l'une vers l'autre de ces aptitudes.

Pour autant, bien que cela soit rare, le transfert se réalise parfois, notamment dans le domaine de la programmation, lorsqu'il est minutieusement accompagné et porte sur des habiletés spécifiques (et non des compétences générales) pour des tâches extrêmement similaires aux tâches travaillées en classe, comme l'a montré l'étude 1 de Klahr & Carver (1988). Cette étude avait pour hypothèse que les compétences de débogage, une fois acquises avec LOGO, peuvent être transférées à des tâches similaires, non liées à la programmation. Voici un exemple de tâche de transfert pour cette étude : l'énoncé donné aux élèves présente les instructions délivrées à des déménageurs qui doivent placer des meubles dans plusieurs pièces et suivent ces instructions sans commettre d'erreur. Le placement des meubles est exposé par deux schémas : celui attendu et celui obtenu suite au déménagement, ce dernier présentant une erreur. Il s'agissait pour les élèves de mettre en œuvre des techniques de débogage pour identifier le problème et le corriger. La compétence de débogage a été choisie pour cette étude car, selon Papert (1980), elle est une des « idées puissantes¹⁷ » (p.22) de la programmation. L'étude a été réalisée auprès de 22 élèves de classe de grades 3 à 6 (du CE2 à la 6^e) qui ont bénéficié de 50 heures d'enseignement de LOGO (deux fois 1 heure pendant 25 semaines) par groupes de 4 élèves regroupés en binômes. Les leçons ont été données sous forme de découverte guidée : l'intervention de l'enseignant était réduite au minimum, sauf lors de l'introduction des idées et commandes qui ont alors été présentées de manière structurée. De plus pour limiter la charge cognitive liée à l'apprentissage de la programmation, les commandes et concepts étudiés étaient affichés dans la salle de classe et toujours visibles. Les élèves suivaient un enseignement explicite du débogage avec LOGO. Les résultats des élèves concernant leur capacité à utiliser les compétences de débogages apprises en classe dans des situations de non-programmation ont été comparés aux résultats des élèves des études pilotes qui n'avaient pas reçu d'enseignement explicite du débogage. Les élèves de l'étude ont acquis des compétences de débogage qu'ils ont transférées à des situations de débogage non liées à la programmation. Ainsi, le transfert peut se produire, au prix de maints efforts pour pointer les éléments communs qui existent entre les situations entre lesquelles le transfert est attendu.

¹⁷ « *powerful ideas* » (Papert, 1980, p.22).

Ainsi, le transfert d'habiletés spécifiques peut se produire, ce qui est bien moins certains pour les compétences générales. S'il était possible d'enseigner des compétences générales, c'est-à-dire des compétences dont la maîtrise suffit pour les utiliser dans n'importe quel contexte, autrement dit des compétences portables (Perrenoud, 1999, cité par Crahay, 2006), éducateurs et chercheurs ne rencontreraient pas les difficultés de transfert d'apprentissage que nous avons exposées. Le rapprochement des éléments communs entre deux situations est possible à partir d'habiletés spécifiques, suffisamment précises pour que la connexion puisse s'établir. La compétence générale est par essence trop large pour permettre l'établissement de ces ponts et demeure, selon Crahay (2006), une « illusion simplificatrice » (p.101), non étayée scientifiquement par des théories fondées sur la cognition.

C. Que sait-on des « connaissances¹⁸ » générales ?

Les recherches en psychologie évolutive de l'éducation indiquent que les connaissances générales, donc transférables, relèvent des connaissances primaires, essentielles au développement et à la survie de l'espèce, à son évolution et s'acquièrent naturellement, automatiquement, par immersion, sans effort conscient, au contact des individus de l'espèce (Geary, 2008). Il s'agit par exemple de l'apprentissage de la marche, de la communication orale, de l'écoute, de la capacité à résoudre des problèmes qui se font naturellement sans nécessiter un apprentissage planifié et conscient. Ces connaissances sont générales car elles sont mobilisables (transférables) dans des contextes variés sans avoir été enseignées. C'est d'ailleurs parce qu'elles sont d'une importance si cruciale pour l'espèce, qu'elles s'acquièrent naturellement ; il ne serait d'ailleurs pas possible de les enseigner (Tricot & Sweller, 2014 ; 2019).

Un apprentissage conscient est néanmoins nécessaire pour utiliser les connaissances primaires dans des domaines spécifiques conduisant aux connaissances secondaires. Les connaissances secondaires sont rarement acquises automatiquement et doivent être enseignées explicitement au prix d'efforts cognitifs conscients et volontaires (Geary, 2008 ; Sweller, 2019). Du fait de leur complexité, leur apprentissage est grandement facilité par un

¹⁸ Dans le cadre de la psychologie évolutive, il est fait mention de « connaissances » générales, là où d'autres emploient l'expression « compétences » générales. Nous avons conservé le terme « connaissance » dans cette section, mais employons dans les autres sections le terme « compétence », plus courant dans cette acception.

enseignement explicite, qui structure en petites unités les savoirs de base et organise la présentation des connaissances reliées de sorte à en faciliter l'accès (Bissonnette *et al.*, 2005). Elles sont utiles pour réussir dans des situations propres aux spécificités culturelles de nos sociétés, sans lien avec la survie de l'espèce (Sweller, 2010 ; 2011). La capacité à utiliser un ordinateur, la lecture ou l'écriture sont, par exemple, des compétences culturelles, nécessaires dans des contextes spécifiques.

Pour comprendre la distinction entre ces deux types de connaissances, Sweller (2019) prend l'exemple de la résolution de problème (connaissance primaire) et de la résolution d'une équation (connaissance secondaire). L'espèce humaine a évolué pour apprendre à résoudre de multiples problèmes. En revanche, elle n'a pas évolué pour savoir spécifiquement résoudre « a » dans l'équation $(a + b) / c = d$. L'apprentissage de cette résolution est une connaissance secondaire qui doit être enseignée. Lorsque les heuristiques disponibles en mémoire à long terme, correspondant soit aux connaissances primaires, soit aux connaissances secondaires apprises, ne permettent pas de résoudre un problème, le cortex cérébral active l'attention vers l'information et en produit une représentation dans la mémoire de travail qui entraîne une prise de conscience explicite de l'information ; le traitement de cette information réalisé par la suite correspond à l'apprentissage (Geary, 2008).

Ainsi les connaissances secondaires peuvent et doivent être apprises et enseignées, elles sont spécifiques au domaine et, de fait, se généralisent (ou se transfèrent) difficilement, tandis que les connaissances primaires sont génériques, elles s'acquièrent et se généralisent naturellement (Tricot & Sweller, 2014). La distinction des connaissances primaires et secondaires est devenue un élément central de la théorie de la charge cognitive car elle fournit des voies à exploiter pour comprendre les processus d'apprentissage et les faciliter (Sweller, 2011 ; 2019), la première voie étant de ne plus considérer comme allant de soi le transfert de compétences enseignées considérées comme générales.

La programmation est souvent considérée comme un moyen de développer des compétences générales, telles que la résolution de problèmes, mais ce sont pourtant les habiletés spécifiques qu'elle entraîne (Galand ; 2020), en cohérence avec la littérature précédemment exposée. Pourtant la connaissance générale (primaire) s'exerce à travers la multitude d'habiletés (secondaires) qu'elle mobilise dans des situations spécifiques et se renforce lorsque l'utilisation de ces habiletés sont exploitées dans de nouvelles situations. C'est

au prix de la mobilisation, dans des situations variées, des multiples habiletés qui constituent la compétence générale que celle-ci s'étend progressivement à différentes situations.

D. Les conditions favorables au transfert d'apprentissage

Dans la plupart des cas où il y a transfert, les conditions de celui-ci sont remplies un peu fortuitement (Perkins & Salomon ; 1992). Pourtant le transfert d'apprentissage est un but d'enseignement, dont la réalisation est loin d'être automatique et nécessite la mise en œuvre de tâches variées, sur la base d'un apprentissage profond, enrichi par des discussions structurées, guidées par l'enseignant (Hattie *et al.*, 2016 ; Schunk, 2012).

Un certain nombre de conditions liées aux caractéristiques des situations de travail ou aux pratiques enseignantes facilitent le transfert d'apprentissage (Perkins & Salomon, 1992 ; Salomon & Perkins, 1989). Pour un transfert proche, les situations source et cible doivent se chevaucher suffisamment (Scherer *et al.*, 2019). Pour un transfert « de haut niveau de conscience », les enseignants doivent accompagner explicitement leurs élèves dans une démarche consciente de transfert en pointant les éléments communs entre les différentes situations et leurs représentations (Hattie *et al.*, 2016 ; Bransford *et al.*, 2000 ; Duval, 2006).

C'est ce que Salomon et Perkins (1989) appellent le « *bridging* » ou « rapprochement », c'est-à-dire le fait d'encourager les élèves à établir des ponts, à retrouver des similitudes entre les situations, et à pratiquer cette attitude réflexive de manière volontaire et contrôlée. Cette technique s'appuie sur le fait que les performances de transfert d'apprentissage sont meilleures quand les élèves sont préparés à rechercher des similarités entre anciens et nouveaux problèmes. Une clé de la réussite du transfert est donc de développer l'attention aux connexions entre problèmes familiers et nouveaux problèmes. L'apprentissage explicite du transfert favorise la reconnaissance des structures de problèmes ainsi que les activités métacognitives de recherche des similarités, d'attention portée au transfert de compétences (Fuchs *et al.*, 2003).

La pratique approfondie accompagnée de la confrontation à une grande variété de problèmes connexes favorise le recours aux procédures connues lors de la rencontre d'une situation nouvelle. Des changements même mineurs entre deux situations favorisent le transfert. L'abstraction consciente des principes de la situation est une caractéristique essentielle du transfert de haut niveau de conscience. Elle permet d'extraire une règle, un principe, un schéma qui fait du sens pour un nombre de cas plus large que la situation de départ.

Le rôle de l'attention est primordial dans tout apprentissage, car il oriente le choix des informations sélectionnées par la mémoire de travail pour être traitées (Fayol, 2017). Ainsi, le transfert a plus de chances de se réaliser lorsque les élèves sont attentifs aux signaux qui indiquent la pertinence de l'utilisation d'une compétence particulière. Ils seront alors plus aptes à remarquer ces indices si leur attention est explicitement orientée vers ceux-ci (Anderson *et al.*, 1996, cité par Schunk, 2012).

Dans sa méta-analyse sur les pratiques efficaces en mathématiques, Hattie et ses collègues (2016) indiquent qu'il est préférable, dans le cadre d'un transfert d'apprentissage, de demander aux élèves de prendre le temps de la réflexion, avant de se lancer dans la résolution d'une tâche, pour chercher les similitudes et différences entre le nouveau problème les problèmes récemment résolus. Cette étape présente un effet d'ampleur moyen de 1,23 et est d'autant plus importante que le niveau des élèves est faible. Cela rejoint l'idée de la stratégie métacognitive dont Fuchs *et al.* (2003) préconisent l'apprentissage pour faciliter la résolution d'un problème : chercher prospectivement dans quelles situations un savoir pourra être réutilisé, mais aussi dans une situation nouvelle, chercher rétrospectivement quelles peuvent être les solutions familières qui pourraient être utilisées.

3. Structure profonde, conversion de registres et transfert, trois approches qui présentent de nombreux recouvrements

A. Structures profonde des situations problèmes

Les travaux du psychologue Daniel T. Willingham à propos de l'enseignement de la pensée critique apportent un éclairage complémentaire sur le transfert d'apprentissage. Vouloir faire apprendre un type de pensée (pensée critique, pensée informatique) applicable en toutes situations postule que celui-ci soit une compétence générale. Néanmoins les recherches en psychologie cognitive ont montré que les processus de pensée ne forment pas une compétence générale, mais sont au contraire fortement liés au contenu, à l'expertise que l'apprenant a du domaine dans lequel il l'exerce (Willingham, 2007).

En mathématiques, chaque situation revêt une structure de surface, relative aux éléments qui la présentent, la décrivent, et une structure profonde, relative aux connaissances mathématiques à mobiliser pour résoudre le problème. Les éléments de surface sont ceux qui captent et guident notre attention, donnent du sens et permettent de gagner en rapidité de traitement. Cette captation de l'attention freine cependant le transfert d'apprentissage, car elle détourne l'attention de la reconnaissance de la structure profonde de la situation (abstraction à acquérir). Cela explique que l'apprenant ne parvienne souvent pas à résoudre un problème qu'il sait pourtant résoudre sur le plan mathématique, si celui-ci présente des éléments de surface éloignés de la situation familière pour laquelle il sait appliquer le raisonnement adéquat. Willingham (2007) illustre ce phénomène en citant une expérience dans laquelle les individus (les spécifications d'âge et autres caractéristiques ne sont pas mentionnées dans l'article) avaient appris à résoudre un problème de calcul de multiple en bénéficiant d'explications détaillées pour comprendre comment résoudre ce type de problèmes. Les éléments de surface de ce problème concernaient un jardin potager et des légumes à planter en rangées. Suite à cela, il leur était proposé de résoudre un problème portant sur la même structure profonde (calcul de multiple) mais présentant des éléments de surface différents. Il ne s'agissait plus de jardin et rangées de légumes, mais d'une parade et de rangées de membres de fanfare. Seulement 19% des individus qui avaient suivi ce programme d'instruction ont reconnu la structure profonde de la situation problème, leur permettant de comprendre que le type de solution de la situation initiale permet de résoudre la situation suivante. Cette difficulté à reconnaître la structure profonde commune aux deux situations tient au fait que leurs éléments de surface sont trop éloignés.

Afin que les élèves mobilisent automatiquement les connaissances mathématiques nécessaires à la résolution d'un même type de problème présenté dans différentes situations, ils doivent être suffisamment familiers de sa structure profonde. Pour cela, ils doivent l'avoir rencontrée et reconnue au sein d'un éventail de situations suffisamment variées. Cela passe par une pratique importante, dans des situations variées, où l'accent est mis par l'enseignant sur la reconnaissance de la structure profonde, en tissant des liens entre les situations dont les éléments de surface diffèrent mais qui font appel aux mêmes connaissances mathématiques. Ainsi, Willingham (2007), indique à propos de la résolution du problème précédemment évoqué, faisant intervenir la même structure profonde (calcul de multiple) pour des structures de surface éloignées (jardin d'une part, fanfare de l'autre), que la proportion des individus reconnaissant la structure profonde passe des 19% à 35% si on leur précise que les deux

problèmes sont similaires. Le fait de savoir qu'il s'agit de la même structure profonde aide les élèves à transférer leurs connaissances d'une situation à une autre. Pourtant la reconnaissance de la structure profonde n'est pas suffisante pour que le transfert se réalise car même avec les indications, le taux de réussite reste très faible. Cela s'explique par le fait qu'il faut également que les élèves aient suffisamment de connaissances liées aux éléments de surface, c'est-à-dire au domaine, pour l'utiliser.

B. La conversion de registres pour une connaissance profonde

L'utilisation de la programmation pour faire des mathématiques semble particulièrement pertinente pour développer un apprentissage profond des notions mathématiques. Pour rappel du chapitre I, le caractère abstrait de cette discipline rend nécessaire l'utilisation de registres de représentation pour l'exposer de façon plus concrète (Duval, 1999). Un même objet mathématique peut être représenté dans différents registres, chacun autorisant un certain nombre de traitements, comme les calculs par exemple. Certains de ces traitements sont propres au registre de représentation, d'où la nécessité de les maîtriser en complémentarité (Duval, 1993). Pour traiter un objet mathématique, il est nécessaire de savoir le représenter dans les registres permettant le traitement visé.

L'objectif de l'enseignement des mathématiques est que les élèves soient capables de choisir les registres les plus appropriés à la résolution de leur problème, ceux qui permettent les traitements qu'ils souhaitent lui appliquer, et à effectuer ce passage d'un registre à un autre, parfois plusieurs fois pour un même objet, au cours de la résolution d'un problème. Duval (1999) appelle « conversion » le passage, pour un même objet mathématique, d'un registre à un autre. La maîtrise de la conversion de registre est essentielle à la compréhension globale, profonde, d'un objet mathématique.

La conversion d'un registre à un autre n'est possible que si l'élève a reconnu le même objet mathématique dans les deux formes de représentation (Duval, 2006). Le paradoxe de l'apprentissage des mathématiques tient au fait que la compréhension d'un objet mathématique nécessite la capacité de réaliser des conversions pour cet objet, alors même qu'il faut reconnaître l'objet pour être en mesure d'effectuer cette conversion (Duval, 2006). Si la conversion permet aux élèves d'accéder à la compréhension profonde des objets mathématiques, elle ne va pas de soi. Bien des élèves ont des connaissances cloisonnées entre registres et sont incapables de reconnaître un même objet représenté dans différents registres.

Ainsi, ils conçoivent deux objets là où il n'y en a qu'un, parce qu'ils assimilent le registre de représentation à l'objet mathématique.

Pour les aider à comprendre que ce sont les mêmes objets qui sont étudiés à travers différents registres, l'enseignement doit les amener à étudier les variations de représentations lors du passage d'un registre à un autre. C'est ainsi que les élèves peuvent apprendre à reconnaître le registre mathématiquement pertinent pour le traitement qu'ils veulent appliquer, réaliser la conversion de leur objet mathématique et, objectif final, dissocier l'objet représenté de ses différentes représentations.

Le langage de programmation est un type de registre de représentation (Bråting & Kilhamn, 2020). Si la conversion de registre favorise l'apprentissage profond d'une notion mathématique, alors le travail d'une notion mathématique exprimée dans plusieurs registres de représentation tels que le langage de programmation et l'écriture symbolique mathématique, accompagné d'un travail de conversion de registre devrait favoriser à la construction d'une compréhension profonde de cette notion selon les travaux de Duval (2000).

C. Points de convergence entre transfert d'apprentissage, reconnaissance de la structure profonde et conversion de registres

Si Duval ne fait pas explicitement mention de transfert d'apprentissage, la conversion de registre répond à la définition du transfert d'apprentissage. Ainsi, la conversion de registre dans le cadre des activités de programmation pour apprendre des mathématiques se rapproche d'un transfert proche, lorsqu'il s'agit de travailler la même habileté spécifique en mathématiques dans les deux registres ; de haut niveau de conscience (*high road*) lorsque ce transfert est consciemment poursuivi, la situation source étant utilisée dans le but de parvenir à la situation cible.

Certains éléments des registres de représentation de Duval peuvent correspondre à ce que Willingham appelle les structures de surface (un tableau, un graphique, un algorithme, un terme, etc.). Tandis que les objets ou connaissances mathématiques de Duval, correspondent aux structures profondes évoquées par Willingham, qui doivent être reconnues pour passer d'un registre à un autre. L'importance de la reconnaissance des éléments fondamentaux est cruciale, lorsque les connaissances ne sont pas encore suffisamment entraînées. Ainsi la

reconnaissance de la structure profonde facilite l'utilisation de la solution à utiliser dans une plus grande variété de problèmes, la reconnaissance de l'objet mathématique étant indispensable à la conversion de registre. Il en va de même pour le transfert d'apprentissage de haut niveau de conscience, facilité par la reconnaissance des éléments communs aux deux situations. Au final, ces trois approches présentent de nombreux recouvrements et se complètent pour traiter du transfert d'apprentissage.

Dans le cadre de la conversion de registre, il est important de retenir des propos de Willingham que les éléments de surface soutiennent et orientent l'attention mais entravent la reconnaissance de la structure profonde. Ceci peut expliquer que le registre de représentation, considéré comme élément de surface, peut capter l'attention des apprenants et les empêcher d'extraire la structure profonde (objet mathématique traité) pour le convertir dans un autre registre. Pour le dire simplement, certains élèves peuvent accorder tellement d'attention aux éléments qui caractérisent les registres de représentation (symboles, figures, environnement de programmation) que cela peut nuire à leur capacité d'abstraction de la structure profonde (objet mathématique). Afin d'aider les élèves à mobiliser leurs savoirs dans différents registres de représentation, il est donc primordial de les aider explicitement à reconnaître l'objet mathématique traité au-delà des éléments de surface que sont les registres de représentation. Cela s'avère d'autant plus important avec les jeunes enfants, davantage sensibles aux éléments de surface.

4. Que retenir ?

Nous nous sommes posé deux questions liées aux processus d'apprentissage dans le cadre de l'enseignement des mathématiques s'appuyant sur des activités de programmation utilisant les outils visuels.

La première question concernait l'effet des langages visuels en comparaison des langages textuels sur les ressources mémorielles dont on sait qu'elles sont cruciales dans le processus d'apprentissage. On a pu penser que la fonctionnalité visuelle serait une bonne alternative aux langages textuels dans l'accès à la programmation qui nécessite la maîtrise de nombreux éléments : concepts, syntaxe et connaissances stratégiques de programmation. La programmation visuelle facilite la compréhension des concepts (itération, variables etc.) et élimine les erreurs de syntaxe (Lye & Koh, 2014). Ce type de langage permet donc de libérer l'attention des élèves d'une charge inutile au profit des apprentissages ciblés. En revanche, les

éléments visuels présents dans ces environnements peuvent capter les ressources cognitives des élèves et entraver leurs apprentissages. Par exemple, la mise à disposition d'options superflues peut détourner l'attention des élèves de leur apprentissage (Mason & Cooper, 2013). De plus, le fort taux d'interactivité des éléments qu'induit la programmation incite à prendre garde aux effets qui pourraient surcharger la mémoire de travail. Nous avons relevé deux potentiels effets indésirables : l'effet des éléments isolés interagissant qui se produit lorsque les éléments à traiter présentent un taux d'interactivité trop élevé, et l'effet d'attention partagée qui se produit lorsque l'élève doit placer son attention simultanément sur deux espaces dissociés, possiblement lorsque l'élève travaille sur deux environnements simultanément. Ces effets, s'ils se produisent, peuvent freiner les apprentissages. En conclusion, les études qui utilisent les langages de programmation peuvent compter sur certains éléments facilitateurs d'apprentissages des langages visuels, mais doivent rester vigilants sur les aspects qui peuvent détourner les élèves de leur tâche ou surcharger leur mémoire de travail.

La seconde question portait sur le transfert d'apprentissage des habiletés mathématiques des situations de programmation vers les situations de mathématiques symboliques traditionnelles : ce transfert est-il possible ? Peut-il être bénéfique pour les apprentissages ? Certains chercheurs s'attendent à ce que ce transfert d'apprentissage porte sur des compétences générales liées à la résolution de problème (Scherer, 2016 ; Shute *et al.*, 2017). Cette idée est étayée par la présence d'un chevauchement conceptuel entre programmation et résolution de problèmes. Pourtant les études échouent à mettre en lumière le transfert de compétences générales, en cohérence avec les connaissances en psychologie évolutive. La psychologie évolutive indique que les compétences générales (ou connaissances primaires) sont celles dont l'espèce a un besoin vital tel qu'elles s'acquièrent naturellement, sans qu'il soit possible de les enseigner. En revanche, il est possible de transférer des habiletés spécifiques (connaissances secondaires), notamment dans le cadre d'un transfert proche et conscient, dont l'enseignement pointe explicitement les attentes et stratégies de transfert et les similitudes entre situation source et situation cible. En mathématiques, bien que complexe, le transfert d'habiletés spécifiques est tout à fait pertinent et correspond à ce que Duval (1993) appelle la conversion de registre. Plus un élève est en capacité de convertir un objet mathématique dans différents registres, plus sa compréhension de l'objet sera profonde et complète.

Chapitre IV - Motivation, sentiment de compétence et anxiété : freins et leviers conatifs aux apprentissages

Notre étude s'intéresse aux effets que produit un dispositif expérimental sur trois variables conatives interreliées : la motivation autodéterminée en mathématiques, le sentiment de compétence en mathématiques et l'anxiété mathématique. Avant de présenter les connaissances sur les effets des dispositifs numériques, et plus précisément de la programmation sur ces variables, nous apportons, pour chacun de ces construits, des éléments de définition, leurs antécédents et leurs conséquences.

1. Trois construits conatifs en lien avec la réussite scolaire

A. La motivation autodéterminée

Eléments de définition

La motivation est un des processus médiateurs de l'apprentissage les plus étayés (Berger & Büchel, 2012). Les théories motivationnelles sont nombreuses et forment un ensemble heuristique : expectation valence (Atkinson, 1957), buts d'accomplissement (Ames, 1992), sentiment d'auto-efficacité (Bandura, 1982), théorie attributionnelle (Weiner, 1985), théorie de l'autodétermination (Deci & Ryan, 2000), etc. Ces théories indiquent que la motivation est soutenue par une dynamique motivationnelle qui dépend à la fois de l'intention des apprenants, de leur état affectif, leurs croyances et buts, faisant intervenir à la fois des facteurs liés aux enseignants, au système scolaire, à l'élève et à sa famille (Galand, 2006).

Nous avons choisi pour cadre d'évaluation de la motivation celui de la théorie de l'autodétermination, développée au cours des dernières décennies (Deci & Ryan, 2000). Au centre de cette théorie, la nécessité pour l'être humain de satisfaire trois grands besoins psychologiques fondamentaux : de compétence, d'autonomie et de proximité sociale. Le besoin de compétence est satisfait quand l'individu se sent efficace dans ses interactions avec l'environnement. Le besoin d'autonomie est satisfait quand l'individu se sent libre de faire ses choix. Le besoin de proximité sociale est satisfait quand l'individu se sent connecté aux autres individus de son groupe.

L'environnement social va soutenir ou menacer ces besoins, favorisant ainsi la formation de certains types de régulation de la motivation, qui se définit qualitativement selon un *continuum* de cinq types de régulations allant des plus extrinsèques aux plus intrinsèques. La régulation « externe » correspond à la régulation la plus extrinsèque : l'élève travaille pour éviter les punitions ou obtenir des récompenses. La motivation « introjectée » correspond au degré suivant, un peu moins extrinsèque : l'élève travaille sous la pression sociale, pour éviter la honte ou la culpabilité de ses possibles échecs. Ces deux types de régulation sont contraintes et ont des conséquences négatives sur les apprentissages car elles ne suscitent ni l'engagement, ni la persévérance nécessaires pour réussir. Viennent ensuite les régulations dont les effets sont positifs en termes d'engagement, de persévérance et de performances. D'abord la régulation « identifiée » où l'élève travaille pour satisfaire un but personnel pour lequel il perçoit que ses apprentissages peuvent être utiles. Puis la régulation « intégrée » : l'élève s'investit car il considère que ses apprentissages entrent en cohérence avec ses valeurs. Enfin, la régulation « intrinsèque », la plus adaptative : l'élève s'engage par plaisir, intérêt et besoin de maîtrise.

Initialement, la distinction entre types de régulations était établie selon qu'elles étaient externes (régulations externe, introjectée, identifiée et intégrée) ou internes (régulation intrinsèque). Progressivement, cette distinction a laissé place à la catégorisation des régulations contraintes (relatives à une forme de pression) et des régulations autonomes (choisies par l'individu), qui explique mieux la relation entre types de régulation et comportements adaptatifs pour les apprentissages. Plus la motivation est autonome, plus l'élève est capable d'efforts soutenus pour dépasser les obstacles inévitables des apprentissages. Les régulations « identifiée » et « intégrée » sont des régulations externes considérées comme autonomes car elles se réfèrent à l'intériorisation réussie des demandes de l'extérieure (Sarrazin *et al.*, 2011). L'absence de régulation ou « amotivation » se situe en dehors du *continuum* précédemment décrit. Ce concept correspond à la résignation acquise et explique des comportements délétères

pour les apprentissages (Leroy *et al.*, 2013). L'apprenant ne fait pas de lien entre ses comportements et ses apprentissages, entraînant une absence d'engagement, de persévérance et un risque élevé de décrochage.

Toutes ces distinctions ne sont cependant pas pertinentes pour mesurer la motivation autodéterminée chez les élèves de l'école primaire. La régulation « intégrée » correspond à une structuration hiérarchique du Soi qui ne se développe qu'à la fin de l'adolescence et n'est pas pertinente pour de jeunes enfants (Guay *et al.*, 2010). De plus, il est possible de réduire les régulations « externe » et « introjectée » en une seule régulation dite « contrôlée » afin de limiter le nombre de questions posées à de jeunes enfants. Il est plus approprié d'utiliser une échelle de mesure de la motivation autodéterminée réduite à trois régulations : « contrôlée », « identifiée » et « intrinsèque », pour mesurer la motivation autodéterminée chez de jeunes enfants (Guay *et al.*, 2010). C'est celle que nous utiliserons pour notre étude.

La théorie de la motivation autodéterminée est l'une des plus exploitées car elle s'applique à de nombreux domaines tels que l'éducation, la santé, ou le sport (Sarrazin *et al.*, 2011). Soutenue par de nombreuses preuves empiriques, elle s'intéresse au bien-être eudémonique, c'est-à-dire au fonctionnement « optimal » des personnes. Nous retrouvons ici la notion d'efficacité, non plus de l'enseignement, mais de l'individu lui-même.

Antécédents et conséquences de la motivation autodéterminée

Le style motivationnel est un élément important de la qualité d'enseignement, il est plus adaptatif lorsqu'il soutient l'autonomie (Reeve, 2006). Il s'appuie sur l'usage des pratiques efficaces d'enseignement telles que l'écoute, les rétroactions bienveillantes et informatives, centrées sur la tâche et les efforts. A l'inverse, le style contrôlant s'appuie sur des pratiques contraignantes et coercitives qui contribuent à la formation d'une motivation contrainte, délétère aux apprentissages et affectent négativement le sentiment de compétence (Leroy *et al.*, 2013 ; Sarrazin *et al.*, 2011).

Le terme « soutien à l'autonomie », au sein de la littérature traitant de la théorie de l'autodétermination, englobe souvent les pratiques qui favorisent non seulement la satisfaction du besoin psychologique fondamental d'autonomie, mais également ceux de compétence et de proximité sociale. Ainsi, le soutien à l'autonomie encourage une motivation plus autonome, un meilleur sentiment de compétence et de meilleurs résultats scolaires. Depuis 2002, les chercheurs ont opté pour une approche multidimensionnelle qui tend à identifier les

comportements enseignants qui soutiennent chacun des trois besoins. On distingue ainsi six styles : « soutenant l'autonomie » *versus* « contrôlant », « structurant » *versus* « chaos », « implication » *versus* « négligeant » (Sarrazin *et al.*, 2011).

Les recherches expérimentales et sur le terrain ont montré les bénéfices affectifs, cognitifs et comportementaux des régulations autonomes de la motivation. Par exemple, l'étude de Reeves et Jang (2006) s'est intéressé aux liens entre comportements pédagogiques (catégorisés comme soutenant l'autonomie ou contrôlant) utilisés par les enseignants, et leur association avec le degré d'autonomie perçu par les élèves. Ils ont montré que les élèves perçoivent l'importance fonctionnelle des comportements pédagogiques soutenant l'autonomie ou entravant l'autonomie. Le soutien à l'autonomie dépend largement de la qualité des relations interpersonnelles entre enseignants et élèves dont les piliers semblent être l'écoute et le soutien, qui s'opposent en tous points aux six comportements repérés comme contrôlants.

La motivation autonome, en comparaison à une motivation contrôlée, ou pire encore, à l'amotivation, facilite une meilleure persistance dans les apprentissages, des perceptions de soi et des apprentissages positifs, de meilleures performances, et des apprentissages plus profonds (Guay *et al.*, 2010 ; Sarrazin *et al.*, 2011).

B. Le sentiment de compétence

Éléments de définition

Le sentiment de compétence est relatif aux croyances sur soi qui diffèrent selon les situations. Ainsi, coexistent un concept de soi général et plusieurs concepts de soi, hiérarchiquement organisés et spécifiques aux domaines : concept de soi académique, concept de soi social, concept de soi émotionnel, concept de soi physique. L'estime de soi globale reflète le bien-être psychologique de la personne tandis que le sentiment de compétence concerne ses croyances de réussites vis-à-vis du domaine concerné (Rosenberg *et al.*, 1995). Ces deux concepts s'influencent l'un l'autre. C'est sur le sentiment de compétence spécifique à une matière qu'il faut travailler si l'on souhaite observer des conséquences positives sur les performances car l'estime de soi globale n'a que peu de liens avec les performances (Rosenberg *et al.*, 1995). Nous nous intéressons au sentiment de compétence académique, lui-même subdivisé en autant de catégories que de disciplines enseignées (Harter, 1985), voir figure 6.

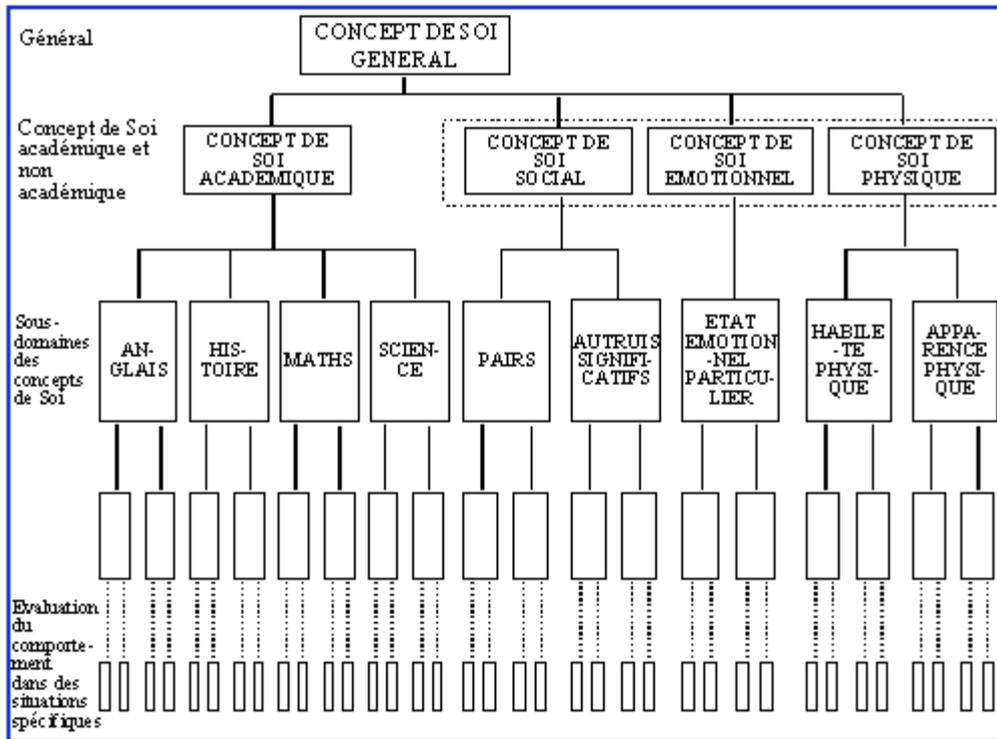


Figure 6. Organisation hiérarchique des perceptions de soi (Harter, 1985).

La littérature révèle une grande proximité, entre sentiment de compétence et sentiment d'auto-efficacité personnel (Leroy *et al.*, 2013, Zimmerman, 2000), voire un certain flou conceptuel (Marsh *et al.*, 2019). Selon Marsh *et al.* (2019), ces deux construits ont beaucoup en commun mais présentent trois différences majeures : le type (descriptif *versus* évaluatif), le niveau de spécificité du contenu (niveau spécifique *versus* niveau général) et l'orientation temporelle (rétrospectif *versus* prospectif). Le sentiment d'auto-efficacité personnel est descriptif, relatif à la tâche donc spécifique, et prospectif, car il correspond à la formulation d'attentes de succès, centrale dans la théorie de Bandura (1986), attentes qui se construisent néanmoins sur les expériences passées. Il correspond à un questionnement comme celui-ci : « est-ce que je suis capable de réaliser une division ? ». Le sentiment de compétence est évaluatif, car il fournit une évaluation de soi pour le domaine concerné, s'élaborant de fait sur une focale plus générale ; il est rétrospectif, car il se construit sur la connaissance des expériences passées dans ce domaine pour répondre à un questionnement comme celui-ci : « ai-je le sentiment de bien réussir en mathématiques ? ».

Antécédents et conséquences du sentiment de compétence

Le sentiment de compétence n'est pas inné, il se construit à travers les expériences d'apprentissage (Bouffard, *et al.*, 2013). En cas de difficultés les élèves ayant une vision positive de leurs compétences sont enclins à persévérer et à réussir, ceux qui considèrent qu'ils ont de faibles compétences sont davantage enclins à abandonner et à échouer (Harter, 1990, 1992, cité par Bouffard *et al.*, 2013). A mesure que le niveau des élèves diminue, leur perception de compétence diminue également, jusqu'à un certain seuil, où elle remonte alors que le niveau des élèves continue de baisser (Bressoux et Pansu (2003). Ainsi, les élèves les plus faibles ont un sentiment de compétence plus fort que les élèves un peu moins faibles qu'eux. Ceci s'explique probablement par l'utilisation de stratégies de protection d'estime de soi de la part des élèves les plus faibles. Pour autant, les perceptions de compétences spécifiques à un domaine contribuent systématiquement et significativement à l'explication de la variance des performances en fin d'année pour ce domaine (Bouffard *et al.*, 2013).

La comparaison à un standard, à un autrui ou à soi dans un autre domaine, affecte la formation du sentiment de compétence (Marsh & Seaton, 2015 cité par Marsh *et al.*, 2019). Le sentiment de compétence est inversement lié au niveau moyen de la classe, car l'élève s'évalue en comparaison à ses pairs. Cette comparaison aux autres dans la même matière est connu sous le nom du *Big Fish Little Pond Effect* (Marsh *et al.*, 2007). La perception de compétence peut également se construire en comparaison à soi, dans une autre matière. Ces effets sont contrintuitifs car ils se forment en opposition d'un domaine à l'autre. Ainsi, la réussite dans un autre domaine peut avoir un effet négatif sur le domaine concerné, par exemple réussir en français, peut avoir un effet négatif sur le sentiment de compétence en mathématiques (Marsh *et al.*, 2019). Le jugement de l'enseignant, autrui signifiant, affecte le sentiment de compétence des élèves qui perçoivent à travers ce jugement une attente de réussite (ou d'échec) directement liée leur niveau de compétence estimé par l'enseignant (Bressoux & Pansu, 2003).

C. L'Anxiété mathématique

Eléments de définition

La littérature recense deux formes d'anxiété : l'anxiété trait, liée à la personnalité de l'individu, stable dans le temps et l'anxiété état, présente ponctuellement, provoquée par un événement précis (Viau, 1995). Nous nous intéressons dans cette section à l'anxiété état, sensible au contexte : pratiques enseignantes, évaluation, climat de classe ou discipline scolaire. L'anxiété aux tests (*Test Anxiety*) et l'anxiété en mathématiques, discipline pour laquelle les élèves ressentent le plus d'anxiété, sont parmi les plus documentées (Hattie, 2008 ; Hembree, 1990).

Les études descriptives montrent que l'anxiété est sensible à la discipline scolaire ; ainsi un élève peut ressentir de l'anxiété dans une matière, par exemple en français, sans en ressentir dans une autre, par exemple en mathématiques (Marsh, 1998, cité par Viau, 1995). Les études suggèrent cependant que l'anxiété en mathématique est plus élevée que dans les autres disciplines (Dowker *et al.*, 2016). Les études font ressortir que les filles forment en général un plus haut niveau d'anxiété que les garçons (Hembree, 1990 ; Viau, 1995) qui se révèle davantage au secondaire qu'au primaire et pourrait être le résultat de l'exposition aux stéréotypes sexistes (Dowker *et al.*, 2016).

L'anxiété en mathématiques est reliée positivement à l'anxiété générale (Hembree, 1990). Elle augmente avec l'âge, elle est plus élevée au collège ($r=0,31^*$, $n=9\ 209$) qu'au primaire ($r=0,19^*$, $n=6\ 299$). Concernant les ethnies, aucune différence d'anxiété n'a été trouvée aux Etats-Unis entre individus blancs et individus noirs, néanmoins, une différence significative a été trouvée entre individus blancs et individus hispaniques ($0,82^*$, $n=1489$) (Hembree, 1990). Ceci peut amener à penser qu'il existe des phénomènes de menace du stéréotype dans ce domaine pour certaines catégories de personnes, comme par exemple les filles, qui connaissent un plus haut niveau d'anxiété que les garçons et sont également sujettes à la menace du stéréotype face aux mathématique (Désert *et al.*, 2002 ; Dowker *et al.*, 2016).

Mécanisme de l'anxiété mathématique : la mémoire (de travail) qui flanche.

L'élément principal à prendre en considération pour comprendre les mécanismes d'anxiété concerne le rôle central de la mémoire de travail dans les apprentissages, notamment mathématiques, et sa dégradation en situation d'anxiété (Ashcraft, & Krause, 2007 ; Moore *et al.*, 2015). Ces mécanismes expliquent comment des personnes qui ont le même niveau de connaissance que les autres, sont amenées à réaliser de moins bonnes performances en raison de leur anxiété.

Les évaluations en mathématiques des personnes anxieuses relèvent du mécanisme d'« *affective drop* », baisse drastique des capacités cognitives disponibles pour la tâche, du fait de la mobilisation de leurs ressources cognitives vers des pensées négatives de ruminations (Ashcraft & Moore, 2009). Des expérimentations en double-tâches ont montré que l'anxiété, lorsqu'elle est activée, réduit les capacités de la mémoire de travail, car la réaction d'anxiété génère des pensées et inquiétudes intrusives qui accaparent une partie des ressources de la mémoire de travail (Eysenck & Calvo 1992, cité par Ashcraft & Kirk, 2001). Les participants anxieux signalent beaucoup plus de pensées intrusives que de pensées relatives au traitement de la tâche en comparaison des personnes présentant une faible anxiété. Ainsi, l'anxiété accapare l'attention, ce qui ronge les ressources disponibles en mémoire de travail pour le traitement des informations nécessaires aux apprentissages.

Ashcraft et Krause (2007) ont cependant montré un effet plafond pour les exercices faciles, quel que soit le niveau d'anxiété en mathématiques des élèves. Ceci indique que les individus qui souffrent d'anxiété en mathématiques ne sont pas pour autant entravés systématiquement dans leurs performances. Les traitements automatisés, qui n'impliquent pas l'usage de la mémoire de travail, ne sont pas perturbés par l'anxiété. C'est lorsque la mémoire de travail est utilisée pour traiter l'information que les effets délétères de l'anxiété sur les performances s'observent, notamment lorsque la tâche fait intervenir des connaissances procédurales (Ashcraft, 2002). L'usage de procédures pour réaliser un calcul, contrairement à l'extraction automatisée de résultats de calculs mémorisés en mémoire à long terme, désavantage les individus anxieux lorsqu'ils sont amenés à traiter une autre tâche dans le même temps ou lorsque leur mémoire de travail est faible (Ashcraft & Krause, 2007). A mesure que les exercices se complexifient, l'écart se creuse entre les élèves anxieux et non anxieux, les performances maximales sont alors plus faibles pour les élèves les plus anxieux.

Moore *et al.* (2015), par des expérimentations faisant intervenir des doubles-tâches, ont montré que les exercices les plus difficiles, qui ne font pas appel à des automatismes, requièrent des capacités en mémoire de travail plus importantes. Ces expérimentations permettent de comprendre l'effet de l'anxiété sur la mémoire de travail, mais également de comprendre que la réduction de la capacité de la mémoire de travail n'est pas une conséquence permanente de l'anxiété, mais un effet transitoire de celle-ci. Par ailleurs, il n'est pas envisageable d'attribuer comme cause de l'anxiété la capacité réduite en mémoire de travail, car dans ce cas, l'anxiété se produirait systématiquement et simultanément dans toutes les disciplines, ce qui ne se retrouve pas dans les travaux de méta-analyse sur l'anxiété (Hembree, 1990). Par exemple, la corrélation entre anxiété mathématique et QI général est de $r=-0,17$. C'est une corrélation peu élevée et probablement gonflée par le fait que les tests de QI contiennent soit en partie des tests mathématiques. Cette corrélation devient non significative dès lors que l'on ne considère que les aptitudes verbales du QI ; en revanche, anxiété en mathématiques et anxiété aux tests sont fortement corrélées : $r=0,52$ (Hembree, 1990).

En plus des effets délétères de l'anxiété sur les capacités cognitives, un deuxième mécanisme est à l'œuvre dans la dégradation des performances en mathématiques dû aux stratégies d'évitement. Les personnes anxieuses en mathématiques en viennent à obtenir de moins bonnes compétences en mathématiques que les autres, notamment parce que leurs stratégies d'évitement réduisent leur temps d'exposition aux mathématiques par rapport aux autres (Fennema, 1989, cité par Ashcraft, 2002).

Antécédents et conséquences de l'anxiété en mathématiques

Hembree (1990) a évalué à $r=-0,31$ la corrélation entre anxiété mathématique et performance. Il est toutefois compliqué de dissocier ce qui relève de l'anxiété en mathématiques et ce qui relève du manque de compétences, notamment parce que les preuves liées aux relations entre anxiété, performances et attitudes sont corrélationnelles, et ne permettent donc pas d'attester de liens de causalité (Ashcraft & Kirk, 2001). Le sens de la relation de causalité entre anxiété et performances en mathématiques peut être questionné. L'amélioration des performances fait chuter le taux d'anxiété tandis qu'un traitement comportemental et cognitif de l'anxiété peut affecter positivement les performances et permettre de faire accéder à un élève anxieux à un niveau de performances correspondant à celui d'élèves non anxieux. Ainsi, les thérapies comportementales ont un effet sur la baisse de l'anxiété, les élèves qui les suivent obtiennent de meilleurs résultats en mathématiques sans

qu'ils aient pratiqué des mathématiques supplémentaires (Moore *et al.*, 2015). L'anxiété dégrade les performances des élèves qui auraient, à compétences égales, de meilleures performances s'ils n'étaient pas anxieux. La relation entre anxiété et performances en mathématiques semble donc bidirectionnelle, et il semblerait même que ce soit davantage l'anxiété qui soit la cause de mauvaises performances, plutôt que le niveau de performance qui cause de l'anxiété (Hembree, 1990).

Le style de l'enseignement figure parmi les antécédents de l'anxiété des élèves, notamment le manque de soutien et la façon d'accueillir les erreurs en classe (Ashcraft & Krause 2007). Par exemple les enseignants ayant de fortes exigences de réponses correctes sans donner le soutien cognitif et motivationnel aux apprentissages, ceux qui se montrent agacés par les mauvaises réponses ni ne délivrent d'explications sur ce qui n'a pas été compris par les élèves, participent à la formation d'un terreau favorable au développement de l'anxiété scolaire et aux stratégies d'évitement (Turner, 2002, cité par Ashcraft, 2002).

La pression exercée par le contexte de classe peut également générer des troubles anxieux, phénomène désigné sous le nom de « *Choking Under Pressure* » (Morre *et al.*, 2005). Cette pression s'exerce lors des pratiques de comparaisons sociales, des limitations de temps impartis pour réaliser un exercice, ou encore lorsque l'élève se sent observé (Viau, 1995). Nous avons vu que l'anxiété avait un effet sur les performances lorsque la tâche fait intervenir ne repose pas sur des automatismes. La pression fonctionne selon des mécanismes similaires. Si le traitement de la tâche relève d'automatismes, il n'y aura pas d'effet de la pression sur les performances. En revanche, si la tâche nécessite un traitement procédural ou que le niveau de difficulté augmente, il y aura un effet de la pression sur les performances, d'autant plus fort que les élèves sont anxieux (Moore *et al.*, 2005).

La méta-analyse de Hembree (1990) fait apparaître des *patterns* de conduites psychologiques apprises, mises en œuvre en situation de stress. Les premières, orientées vers la tâche, entraînent des comportements qui réduisent le stress et favorisent la réussite. Ainsi, les personnes moins anxieuses, produiront des efforts pour terminer la tâche, on parle de comportement « *task-relevant* » (pertinents pour la tâche). Les secondes sont des conduites d'anxiété apprises qui entraînent des comportements, différenciés selon le niveau d'anxiété, non adaptatifs, stimulés par des états physiologiques désagréables (accélération du rythme cardiaque) et des pensées négatives (perte d'estime de soi, anticipation de punition, besoin de s'échapper). Cette conduite est dite « *task-irrelevant* » (non pertinente pour la tâche). L'anxiété

en mathématiques est liée négativement aux conduites qui facilitent les performances pendant les tests. Ajoutons qu'un fort taux d'anxiété, à long terme, est lié à moins de poursuite de scolarité dans les grandes écoles en mathématiques (Hembree, 1990).

L'anxiété en mathématiques a des répercussions délétères sur les résultats des individus, leurs choix d'études et de carrières, ainsi que leur décrochage (Viau, 1995). La pression exercée par les enseignants (et les parents) vis-à-vis des mathématiques est d'autant plus forte que cette discipline revêt une importance croissante dans notre société (Dowker *et al.*, 2016). Cela semble pourtant contreproductif car cette pression débouche sur l'anxiété dont la plus grande caractéristique est l'évitement (Hattie, 2008). Ainsi, certains élèves vont jusqu'à éviter toute expérience avec les mathématiques dans leurs choix d'orientation scolaire et académique et dans leur vie professionnelle, en réaction à leur anxiété mathématique.

2. Motivation, sentiment de compétence, anxiété : des facteurs qui agissent en constellation

A. Des antécédents communs : droit à l'erreur et théories implicites de l'intelligence

Les croyances naïves des élèves concernant les théories implicites de l'intelligence (Dweck, 1988) ont un effet sur l'anxiété, la motivation et le sentiment de compétences. Deux théories implicites de l'intelligence coexistent. La première concerne l'intelligence fixiste, où l'intelligence est perçue comme un trait de la personnalité, fixée pour un individu, comme un don qui lui permettrait de réussir ou pas dans les différents domaines. L'adoption de ce point de vue place l'erreur comme un indicateur de non intelligence ; il peut être alors mal vécu, et mal vu, de se tromper. De la même façon, les efforts pour réussir dans un domaine pour lequel on ne se perçoit pas comme doué peuvent être auto-interprétés comme un indicateur de manque d'intelligence dans le domaine concerné. En revanche, si l'on considère l'intelligence comme incrémentielle, malléable, l'apprentissage serait une possibilité d'en savoir plus, de devenir en quelque sorte plus intelligent et légitimerait les efforts, indéniablement nécessaires pour accéder à de nouvelles connaissances. La place de l'erreur n'est dans ce cas plus perçue comme un indice de non intelligence mais comme l'indice d'un apprentissage en construction (Dweck, 2015).

Les individus développent l'une ou l'autre de ces croyances vis-à-vis de l'intelligence en fonction des interactions sociales qu'ils vivent et observent, face aux échecs et réussites. Burns et Isbell (2007, cités par Moore *et al.*, 2015) ont constaté que les interventions visant à promouvoir les croyances malléables de l'intelligence réduisait les niveaux d'anxiété en mathématiques avant un test de mathématiques et augmentait les perceptions d'amélioration des performances et ce bien que les performances ne se soient pas améliorées de manière significative. Et l'on sait que la perception de compétence à accomplir une tâche est, selon Bandura (1988), un des plus fort prédicteur de l'anxiété (Viau, 1995).

Ainsi, les mathématiques sont une discipline où les aptitudes sont souvent considérées comme plus déterminantes pour réussir que les efforts. Cette croyance relève d'une vision fixiste de l'intelligence. Il en résulte chez les élèves une inquiétude prononcée de se montrer, vis-à-vis de soi et des autres, en difficulté en mathématiques, car cette difficulté est considérée par l'individu comme un indicateur d'intelligence moindre. Ceci explique également la tendance à l'évitement pour ne pas se trouver dans la désagréable situation de montrer que l'on ne sait pas (Ashcraft, 2002).

Pour autant, les enseignants adultes qui adhèrent à la théorie malléable de l'intelligence développent elles aussi un comportement d'évitement des erreurs, craignant qu'elles ne détournent leurs élèves de leurs apprentissages. Pourtant ces erreurs pointent des malentendus et incompréhensions qui doivent être mis à jour pour être dépassés en vue d'un apprentissage de qualité. L'erreur montre que l'élève ne sait pas encore, qu'il doit surmonter une difficulté ou déconstruire malentendu, c'est une opportunité d'apprendre. L'accueil fait aux erreurs par les enseignants, a un effet sur la permission que se donnent les élèves d'oser se tromper ou pas : d'essayer ou d'éviter. Cela a des répercussions sur les opportunités d'apprendre mais également contribue à la construction chez les élèves d'une vision fixiste de leur intelligence, dont on connaît les répercussions délétères sur leur investissement et *in fine* leur réussite (Toczek, 2009). Les enfants de 10-12 ans qui se soucient le plus de leurs compétences sont ceux qui demanderont le moins d'aide quand ils en ont besoin. Travailler sans réussir dégrade l'estime de soi. Lorsque l'échec semble possible, beaucoup d'élèves mettent en œuvre des stratégies d'auto-handicap pour protéger leur estime de soi et leur sentiment de compétence. Ne pas fournir le travail attendu lorsque celui-ci semble trop difficile permet d'éviter d'être étiqueté comme stupide, et préserve l'estime de soi de l'élève, néanmoins, les conséquences sur les apprentissages sont délétères.

B. Constellations d'approche et d'évitement des apprentissages

La motivation autonome, les buts de maîtrise, le sentiment d'auto-efficacité personnel (proche du sentiment de compétence lorsqu'il est considéré à un niveau général), une vision malléable de l'intelligence fonctionnent en constellation d'approche de l'apprentissage et sont liés à un faible taux d'anxiété. A l'inverse, une motivation contrainte, un sentiment d'auto-efficacité personnel dégradé, une vision fixiste de l'intelligence s'organisent en constellation d'évitement et sont liés à un fort taux d'anxiété (Hembree 1990 ; Moore *et al.*, 2015).

Bien que les enfants aient une vision très positive des mathématiques en début de carrière et se sentent plutôt compétents, l'intérêt qu'ils nourrissent faiblit au cours du temps. Avec l'âge le lien entre intérêt porté aux mathématiques et réussite en mathématiques est de plus en plus fort (Moore *et al.*, 2015). Le tableau 1 indique les corrélats relevés entre les différents concepts que nous avons présentés à partir des travaux de Hembree (1990), Moore *et al.* (2015). Elles illustrent bien ce phénomène de constellations.

Tableau 1. Liens entre les variables constellation d'approche et d'évitement vis-à-vis des apprentissages en mathématiques

Auteur	Corrélat 1	Corrélat 2	Moyenne r
Moore <i>et al.</i> (2015)	Anxiété maths	Performances maths	-0,65
	Anxiété maths	Motivation maths	-0,72
	Motivation en maths	Performances maths	0,31
	SEP général en maths	Performances maths	0,42
Hembree (1990)	Anxiété maths	Sentiment joie en maths	-0,75
	Anxiété maths	Confiance en soi en maths	-0,82
	Anxiété maths	Sentiment utilité maths	-0,37
	Anxiété maths	Motivation maths	-0,64
	Anxiété maths	Sentiment compétence maths	-0,71
	Anxiété maths	SEP maths	-0,82
	Anxiété maths	Confiance en soi informatique	-0,32
	Anxiété maths	Croyance maths domaine masculin	0,14
	Anxiété maths	Anxiété trait	0,38
	Anxiété maths	Anxiété état	0,42
	Anxiété maths	Anxiété aux évaluations	0,52
	Anxiété maths	Anxiété aux ordinateurs	0,39

La théorie des buts d'accomplissements de Ames (1992) indique que la motivation peut être déclinée en deux dimensions : approche ou évitement, permet d'éclairer ces phénomènes. L'approche correspond au besoin de l'individu d'aller vers les apprentissages, l'évitement correspond aux comportements qui s'en détournent. Ces deux orientations sont elles-mêmes subdivisées en deux autres dimensions : la recherche de maîtrise ou de performance. La maîtrise correspond à une forme incrémentielle des apprentissages, l'individu souhaite progresser dans une optique autoréférencée. La performance correspond au souhait qu'à l'individu de montrer ses aptitudes dans une forme de comparaison sociale. Les conséquences sont différentes selon que l'individu nourrit des buts d'approche de maîtrise, d'approche de la performance ou d'évitement de la performance. Le but d'évitement de maîtrise est peu représenté, c'est pourquoi on parle de modèle tridimensionnel des buts d'accomplissement (Cury & Da Fonseca, 2001). Il est intéressant de relever que la motivation intrinsèque est négativement liée aux buts de performance-évitement et positivement liée aux buts de maîtrise (Darnon & Butera, 2005). Les buts de performance-évitement sont positivement liés à la peur de l'échec, un climat perçu de comparaison sociale, et les théories implicites de l'habileté sportive, les stratégies d'auto-handicap et l'anxiété (Cury & Da Fonseca, 2001). Tandis que les buts de maîtrise sont positivement liés au besoin d'accomplissement, à un climat perçu de maîtrise, au sentiment de compétence et au sentiment d'auto-efficacité personnel, les théories incrémentielles de l'habileté sportive, le plaisir et l'absence d'anxiété (Cury & Da Fonseca, 2001). Si ces relations sont basées sur des études réalisées en milieux sportif, il est néanmoins intéressant de les présenter car elles offrent un éclairage cohérent au phénomène d'approche ou d'évitement des apprentissages. Elles confirment les propos de Hattie (2008) indiquant que les relations entre sentiment d'auto-efficacité personnelle, concept de soi, motivation, persistance et réussite sont parmi les corrélations les plus importantes.

3. Que sait-on des effets du numérique sur la conation ?

A. Effets du numérique sur les variables conatives : entre croyances et preuves.

L'argument de la motivation pour justifier l'usage des nouvelles technologies en classe est extrêmement courant (Galand, 2020 ; Tricot, 2020). Le numérique en classe serait motivant par ses qualités intrinsèques, comme par exemple sa grande interactivité homme-machine, en plus d'avoir l'avantage de se conformer aux usages de la génération des élèves. Selon Galand (2020), d'autres croyances et attentes sont associées au numérique, qui favoriserait l'autonomie et rendrait possible la mise en œuvre d'une pédagogie différenciée, s'adaptant au rythme des élèves. Mais Galand indique que les logiciels qui permettent d'adapter la difficulté des exercices aux capacités des élèves en leur faisant des rétroactions adaptées sont souvent lourds à mettre en œuvre et peu répandus.

Ces fonctionnalités favoriseraient l'engagement des élèves et, au-delà, impacteraient leur réussite. Il est pourtant simpliste et naïf de s'appuyer sur l'idée que dès lors que les élèves apprécient les technologies, ils se montreront plus confiants et motivés, impactant *in fine* positivement leurs compétences (Livingstone, 2012). Tricot (2020) alerte à ce propos sur la confusion entre motivation scolaire et satisfaction des élèves à utiliser un outil, dont rien ne démontre que ces deux phénomènes sont corrélés, ce qu'il désigne sous le terme « paradoxe préférence/performance ». S'il est heureux que les apprenants aient plaisir à utiliser un outil, il ce plaisir ne correspond pas mécaniquement à la motivation à apprendre (Viau, 2009) et les élèves ne savent pas toujours reconnaître ce qui convient le mieux pour leurs apprentissages (Galand, 2020).

Si certaines fonctions pédagogiques sont facilitées par le numérique et ont des effets très forts, notamment dans le cadre d'aménagement des tâches présentées aux élèves porteurs de handicaps, beaucoup des bienfaits supposés n'ont pas été démontrés. Nombre d'arguments en faveur du numérique n'ont pour le moment pas récolté suffisamment de données cohérentes pour attester d'un quelconque effet. Pourtant il est indéniable que ces outils offrent aux utilisateurs une large part de contrôle, ce qui peut être une source de motivation (Viau, 2009). On sait désormais que les outils numériques, pris dans leur globalité hétéroclite, n'ont pas d'effet clair sur la motivation scolaire (Galand, 2020) ou alors ces effets dépendent d'éléments

extérieurs comme les contenus enseignés, les méthodes, les particularités des élèves (Tricot, 2020).

Il faut donc creuser davantage pour comprendre où se nichent les conditions d'efficacité du numérique et leurs effets sur la motivation (Leroux *et al.*, 2017 ; Livingstone, 2012). Par ailleurs, il est possible de confondre l'effet du numérique avec l'effet de nouveauté : l'introduction de nouveaux usages suscite souvent un regain d'intérêt, d'attention et de motivation, qui s'atténue au cours du temps (Cheung & Slavin, 2013). L'effet positif des outils numériques sur la motivation des élèves pourrait influencer positivement, mais temporairement seulement, les apprentissages. Il demeure de ce fait difficile d'établir des liens clairs entre apprentissages avec les outils numériques, motivation des élèves et leurs acquisitions (Leroux *et al.*, 2017).

Par ailleurs, l'étude comparative entre les pays de l'OCDE (OECD, 2015) à propos des apprentissages conduits avec le numérique a montré que les pays qui ont le plus investi dans les nouvelles technologies sont ceux dont les élèves progressent le moins. Peut-être parce que l'utilisation de ces outils nécessite parfois de mobiliser davantage de ressources cognitives, freinant ainsi les acquisitions (Tricot, 2020). Concernant l'usage du numérique, retenons que la méthode pédagogique, c'est-à-dire ce que fait l'enseignant dans sa classe, compte bien davantage que le média choisi (Galand, 2020 ; Livingstone, 2012).

B. Arguments en faveur d'effets positifs de la programmation visuelle sur les variables conatives

La programmation peut être source d'inquiétude pour les apprenants qui pensent qu'elle nécessite la maîtrise de compétences complexes (Tsai, 2019). La fonctionnalité visuelle des nouveaux langages permettrait de dépasser cette inquiétude et favoriserait une meilleure motivation en comparaison de la programmation textuelle (Maloney *et al.*, 2010). La recherche sur l'enseignement de l'informatique s'est davantage orientée vers les effets de l'utilisation des outils informatiques sur les apprentissages que sur des facteurs conatifs tels que la motivation ou le sentiment d'auto-efficacité notamment parce qu'une part importante de ces recherches est menée par des chercheurs en didactique de l'informatique qui s'intéressent moins à ces sujets (Lishinski & Yadav, 2019). Si l'effet des pratiques de programmation sur les variables conatives est peu étudié, la littérature montre cependant des résultats.

L'étude de Ouahbi *et al.* (2015) a analysé, auprès de 69 élèves d'une école secondaire, l'effet du langage de programmation visuelle avec *Scratch* versus textuelle avec *Pascal*, sur leur motivation envers la programmation. Elle a montré que 65% des élèves ayant utilisé le langage visuel ont exprimé leur volonté d'apprendre davantage de programmation contre 10,3% seulement de ceux qui ont travaillé avec le langage textuel. Ce résultat délivre un élément en faveur de l'apprentissage de la programmation par le biais des langages visuels plutôt que textuels. Néanmoins, les échelles pour mesurer la motivation n'étaient pas mentionnées dans l'étude, ce qui incite à la prudence interprétative.

Tsai (2019) a mené une étude auprès de 180 étudiants, de 19 à 23 ans, choisis au hasard dans le programme d'enseignement général d'une université du sud de Taïwan, répartis dans quatre classes (dont deux comprenant 96 étudiants pour le groupe expérimental). Les quatre classes étaient encadrées par le même enseignant. Les deux groupes ont eu 17 semaines de cours. Dans le groupe expérimental les étudiants utilisaient un langage de programmation visuelle similaire à *Scratch* pour développer une application mobile. Dans le groupe témoin, les étudiants bénéficiaient d'une introduction à l'informatique qui portait sur trois concepts de base de programmation : les séquences, les conditions et les boucles. Un test de niveau en programmation leur a été administré en prétest et en post-test (sur 20 points) pour mesurer leurs compétences sur ces trois concepts. L'auto-efficacité en programmation a été mesurée en prétest et post-test à l'aide de l'échelle de Pintrich & De Groot (1990).

Les résultats de l'étude de Tsai (2019) ont montré des effets positifs significatifs du groupe de programmation visuelle, en comparaison au groupe témoin, sur l'apprentissage des trois concepts étudiés, avec un effet d'ampleur calculé $d=0,45$. De plus, les étudiants ont été classés en trois niveaux d'auto-efficacité, selon leur niveau initial d'auto-efficacité : faible (27% des étudiants), modéré (46% des étudiants) et élevé (27% des étudiants). Ceux qui avaient un niveau initial faible ou modéré, ont davantage progressé que ceux qui avaient un niveau initial élevé, quel que soit leur groupe. En outre, les apprenants ayant un niveau initial faible ou modéré du groupe programmation visuelle ont eu de meilleures progressions que leurs homologues du groupe témoin. Cette étude souligne l'intérêt de l'utilisation des langages visuels auprès des publics qui s'inquiètent de ne pas être suffisamment compétents pour apprendre à programmer.

L'étude de Sáez-López *et al.* (2016) est une intervention, en Espagne, sur deux années auprès de 107 élèves de 5^e et 6^e année (CM2 et 6^e), dont un groupe témoin de 32 élèves. Entre autres objectifs, ils avaient pour but d'étudier les relations entre l'utilité perçue, « l'amusement » et les résultats en sciences, en arts et en programmation, à travers l'apprentissage par projet utilisant la programmation. Les données ont été produites par observations et questionnaires. Les résultats obtenus par ces deux méthodes sont cohérents. Ils ont permis de conclure que les étudiants qui utilisent des langages de programmation visuelle ont du plaisir à ces activités. Ces résultats sont à considérer avec prudence cependant car ils ne sont pas sans rappeler les écueils associés au numérique : plaisir d'utiliser n'est pas motivation à apprendre (Tricot, 2020 ; Viau, 2009). De plus, la motivation est évaluée indirectement, *via* le concept « d'amusement pendant l'activité », mesuré en cinq *items* : « j'étais heureux », « j'ai apprécié l'activité », « j'étais enthousiaste », « je me sentais motivé », « j'étais détendu et à l'aise ». Ces *items* ont été tirés des 42 *items* de l'échelle validée psychométriquement de Laros et Steenkamp (2005), conçue pour mesurer les émotions des consommateurs selon un modèle hiérarchique en trois niveaux (valence de l'émotion (positif, négatif), émotions de base (huit émotions, quatre positives et quatre négatives, dont : bonheur, peur), quarante-deux émotions spécifiques (exemples : optimisme, joie, panique, nervosité). Enfin, le groupe contrôle a été utilisé pour évaluer l'efficacité du dispositif concernant l'apprentissage des notions, mais pas pour évaluer le niveau « d'amusement dans l'activité » en comparaison du groupe contrôle. Ainsi, rien n'indique que les élèves du dispositif ont nourri plus d'amusement qu'habituellement.

Cheng (2019) s'est intéressé à l'acceptabilité de l'outil de programmation visuelle chez les élèves de 8 à 12 ans d'écoles primaires volontaires de Hong-Kong. Le modèle de l'acceptabilité est enrichi par d'autres facteurs testés par questionnaires et entretiens dont le sentiment d'efficacité vis-à-vis de l'ordinateur. Il ressort de cette étude que le sentiment de compétence vis-à-vis des ordinateurs augmente la perception d'utilité et la perception de facilité d'utilisation. Le sentiment de compétence vis-à-vis des ordinateurs est essentiel pour développer un sentiment positif à l'égard de la programmation.

Les résultats de ces études apportent des indications concernant l'utilité des langages visuels et ses effets sur la motivation à la programmation, le sentiment de compétence en programmation, et l'anxiété en programmation dans de rares cas. Néanmoins, ces résultats ne s'intéressent pas aux effets de la programmation sur la motivation, le sentiment de compétence ou l'anxiété en mathématique. De plus, ils n'appliquent pas les standards méthodologiques de validité psychométrique des échelles de mesures des variables conatives.

C. Des rétroactions qui autorisent l'erreur sans la rendre visible

Les environnements de programmation proposent de résoudre des problèmes qui ancrent l'apprentissage dans l'expérience (Balacheff, 2017). Les élèves entrent en interaction avec la machine par l'exécution de leur programme, qui génère une représentation visuelle des éléments impliqués dans le programme, ce que Maloney *et al.* (2010) appellent « rendre l'exécution visible » (p.5). Si cette représentation correspond aux attentes des élèves, elle leur permet de valider leur raisonnement, sinon, elle l'invalidé. Un des intérêts des outils de programmation est de permettre aux élèves de faire des erreurs et prendre connaissance de celles-ci, sans crainte de jugement, les rétroactions fournies lors de l'exécution de leurs programmes étant délivrées par la machine à leur seule destination (Balacheff, 2017). C'est un aspect important de ces environnements en faveur de l'apprentissage car, nous l'avons vu, la crainte d'être jugé pour ses erreurs freine les apprentissages (Ashcraft, 2002 ; Dweck, 1988). Nous n'avons cependant pas trouvé d'étude qui traitait spécifiquement de l'effet des rétroactions directes avec *Scratch* sur la motivation, l'anxiété ou le sentiment de compétence.

4. Que retenir ?

Les usages numériques sont fréquemment mis en avant notamment parce qu'ils seraient susceptibles d'accroître la motivation des élèves (Galand, 2020 ; Tricot, 2020). Pour étudier cette question, nous nous sommes intéressés à trois construits motivationnels, prédicteurs de réussite scolaire : la motivation autodéterminée, le sentiment de compétence et l'anxiété.

Ces trois construits fonctionnent en constellation : dans un schéma adaptatif, plus la motivation est autodéterminée, plus le sentiment de compétence est fort et l'anxiété faible. Inversement dans un schéma non adaptatif, la motivation est contrainte (voire absente), le sentiment de compétence est faible et l'anxiété forte. La formation de comportements adaptatifs pour ces construits est favorisée par des pratiques de classes qui soutiennent trois besoins

psychologiques fondamentaux : l'autonomie, la compétence et la proximité sociale (Sarrazin *et al.*, 2011). Parmi ces pratiques, la structuration des apprentissages et la qualité des interactions sont centrales. L'accueil des erreurs comme indices d'apprentissage, et non comme indice d'une intelligence moindre favorisent la motivation, le sentiment de compétence et la baisse de l'anxiété (Dweck, 2015). A l'inverse, les pratiques contrôlantes ont des effets délétères sur ces trois construits. A ce titre, le manque de soutien, la gêne occasionnée par l'échec face aux pairs sont les ingrédients de l'anxiété en mathématiques (Ashcraft, & Krause, 2007).

Les effets du numérique sur la motivation sont trop hétéroclites pour être généralisables (Galand, 2020) et doivent être considérés sans confondre le plaisir des élèves à utiliser le numérique et leur motivation à apprendre, phénomène désigné sous le terme de paradoxe préférence/performance (Tricot, 2020). De même, il ne faut pas non plus confondre l'effet d'une pratique numérique avec l'effet de nouveauté qu'elle représente, qui ne dure qu'un temps limité (Cheung & Slavin, 2013).

Plus spécifiquement, les études qui étudient les effets de la programmation sur la motivation, le sentiment de compétences ou l'anxiété s'intéressent en réalité aux effets sur la motivation à faire de la programmation, le sentiment de compétence à programmer et l'anxiété à programmer. Ces études fournissent des éléments intéressants, mais ne permettent pas d'éclairer les relations que nous ciblons : l'effet de la programmation sur la motivation en mathématiques, sur le sentiment de compétences en mathématiques et sur l'anxiété en mathématiques. En conséquence, il est indispensable de mettre en œuvre des études qui étayent les effets de ces outils sur les construits conatifs que nous visons, en utilisant les échelles validées psychométriquement pour les mesurer.

Pour autant, on peut penser que certaines fonctionnalités des outils de programmation favorisent la motivation. D'abord parce qu'elles offrent des espaces d'autonomie qui donnent du contrôle aux élèves et sont sources de motivation (Viau, 2009). D'autre part, parce qu'elles permettent aux élèves d'obtenir une rétroaction directe sur le résultat de leur programme. Cette rétroaction est sans jugement, puisqu'elle est délivrée par la machine, ce qui permet aux élèves les plus anxieux d'éviter la peur de se tromper en public et celle d'être mal jugé par leur enseignant, ce qui pourrait réduire leur anxiété (Ashcraft, & Krause, 2007). Les élèves peuvent ainsi rester engagés dans la tâche en réagissant aux rétroactions directes par l'ajustement, si nécessaire, de leur raisonnement et le test de nouvelles solutions algorithmiques.

Problématique générale et hypothèses de travail

1. Problématique de recherche

Nous nous intéressons à l'effet de la pensée informatique *via* la programmation en tant que facteur d'efficacité sur les acquisitions en mathématiques et les variables motivationnelles. Notre question de recherche peut se poser en ces termes : la programmation visuelle permet-elle de favoriser les performances, notamment parce que l'environnement numérique de programmation pourrait lever certains freins sociocognitifs vis-à-vis des mathématiques tels que l'anxiété et favoriser des comportements d'approche vis-à-vis de cette activité (motivation, sentiment d'efficacité personnelle) ?

Ainsi, malgré des résultats mitigés concernant les effets de la programmation sur les apprentissages, nous nous attendons à un effet positif de la programmation sur l'apprentissage des mathématiques pour les notions dont l'expression symbolique mathématique peut être écrite dans un registre algorithmique (traduit en programme visuel exécutable). Nous avons sélectionné pour cela trois notions mathématiques cibles qui répondent à cette contrainte

- La division euclidienne ;
- La décomposition additive ;
- Les fractions (pour les CM2 uniquement) ;

Un groupe de programmation et un groupe contrôle ont travaillé sur ces trois mêmes notions mathématiques. Dans le groupe de contrôle, les élèves expriment la notion mathématique dans la notation algébrique traditionnelle¹⁹. Dans le groupe de programmation, notre design expérimental s'appuie sur l'emploi de registres multiples dont on sait qu'il est

¹⁹ Nous reviendrons plus en détail sur l'organisation de travail du groupe contrôle dans la section « procédure » du chapitre I.

essentiel pour l'apprentissage des mathématiques (Duval, 1999 ; 2000). Les élèves ont à résoudre des problèmes avec *Scratch* en proposant pour cela des programmes qui correspondent à l'expression symbolique mathématique de la notion étudiée. Ce design correspond à la supposition théorique selon laquelle la programmation permet d'explorer des concepts mathématiques, abstraits par essence, par leur manipulation concrète (Papert, 1980 ; Papert & Harel, 1991). Afin de favoriser le transfert *high-road* des connaissances mathématiques acquises, entre le registre de programmation, correspondant aux programmes, et le registre algébrique, correspondant à l'écriture symbolique mathématique, il est demandé aux enseignants de souligner explicitement les relations existant entre ces deux registres (Bransford *et al.*, 2000 ; Duval, 2006). C'est ce que nous avons appelé la phase d'explicitation, où les savoirs mis en jeu, notamment pour réaliser la conversion, sont explicitement structurés. Suivant cette phase, les élèves sont amenés à utiliser les connaissances mathématiques acquises en contexte de programmation, dans un environnement traditionnel de résolution de problèmes sur feuilles.

Nous pensons de plus que les rétroactions immédiates, offertes par l'environnement de programmation, dont bénéficient les élèves du groupe expérimental sont une plus-value pour leurs apprentissages (Hattie & Timperley, 2007). Les élèves peuvent ainsi tester leurs programmes solutions et les corriger en fonction du résultat visualisé. Précisons que, quel que soit le registre utilisé (programmation ou écriture symbolique mathématique), les élèves font des mathématiques durant l'intégralité des séances. Les deux groupes, contrôle et programmation, allouent ainsi le même temps de travail en mathématiques au concept travaillé.

Par ailleurs, la programmation permet de proposer les tâches scolaires, sous des formes différentes de celles auxquelles les élèves sont habitués, notamment en mathématiques. Ce détour peut diminuer les craintes des élèves pour les mathématiques, que traduisent l'anxiété, un faible sentiment de compétence ou une faible motivation pour les mathématiques. L'enseignant s'appuyant sur cette autre façon de faire, propose des tâches relevant des compétences mathématiques sans que les élèves en aient nécessairement conscience. Cet environnement, propice à la construction de solutions partageables et exécutables favorise l'engagement. Dès lors, les élèves qui nourrissent de l'anxiété vis-à-vis des mathématiques, quelle qu'en soit la cause (menace de stéréotype, perceptions de soi en mathématiques négatives, forte identification au domaine...) profitent d'une meilleure mobilisation de leurs capacités cognitives pour aborder leurs tâches.

2. Hypothèses de travail

A. Hypothèses relatives à la cognition

Notre première hypothèse porte sur les effets de la condition expérimentale sur performances en mathématiques comparativement à la condition contrôle. Nous supposons que l'utilisation du dispositif de programmation visuelle améliorera les performances des élèves comparativement aux élèves du groupe contrôle. Cette hypothèse s'opérationnalise de la façon suivante.

H1 L'utilisation du dispositif de programmation visuelle améliorera les performances des élèves sur les trois notions étudiées (la division euclidienne, la décomposition additive et sur les fractions), comparativement aux élèves du groupe contrôle.

B. Hypothèses relatives à la conation

Notre seconde hypothèse concerne la conation, nous supposons que l'utilisation de notre dispositif de programmation visuelle, de par son caractère innovant et ludique, agira favorablement sur les différents processus motivationnels que nous avons mesurés. Cette hypothèse s'opérationnalise en trois hypothèses opérationnelles :

H2.1 L'utilisation du dispositif de programmation visuelle favorisera la formation de régulations plus autodéterminées de la motivation en mathématiques chez les élèves du groupe expérimental comparativement aux élèves du groupe contrôle. Ainsi, nous nous attendons à observer, sur le *continuum* de la motivation autodéterminée, d'une part une baisse de la régulation contrôlée, et d'autre part une augmentation des régulations identifiée et intrinsèque, chez les élèves du groupe expérimental, comparativement au groupe contrôle.

H2.2 L'utilisation du dispositif de programmation visuelle affectera positivement le sentiment de compétence en mathématiques des élèves comparativement aux élèves du groupe contrôle.

H2.3 L'utilisation du dispositif de programmation visuelle réduira l'anxiété en mathématique des élèves comparativement aux élèves du groupe contrôle.

Partie expérimentale - Une
étude empirique randomisée
utilisant les activités de
programmation comme
véhicule d'apprentissage des
mathématiques en CM1 et
CM2

Chapitre I - Méthodologie

1. Participants

L'étude actuelle est basée sur les élèves de CM1 et CM2 dont les enseignants se sont portés volontaires suite à un appel à enseignants auprès de la circonscription de Grenoble. Tous les enseignants qui se sont signalés ont été acceptés pour participer. Ce sont 2 591 élèves de CM1 et CM2 issus de 109 classes de 47 écoles qui ont été recrutés en 2017-2018. L'effet minimum détectable pour ce nombre de classes était de 0,21 pour les séquences en double niveaux (division euclidienne et décomposition additive). Pour la séquence sur les fractions, qui ne concernait que des élèves de cinquième année, l'effet minimum détectable était de 0,29, ce qui reste acceptable.

Les écoles ont été choisies comme unités de randomisation pour l'assignement aux deux conditions : programmation (n écoles=28, n classes=68) et contrôle (n écoles=18, n classes=41). Il était initialement prévu d'expérimenter une activité hors classe auprès d'un sous-groupe du groupe de programmation qui n'a finalement pas été mise en œuvre. Ainsi, un nombre légèrement plus important d'écoles ont participé à la condition de programmation. Un consentement parental signé a été demandé et obtenu pour tous les participants, à l'exception de 68 élèves (2,61%) qui ont été exclus des analyses. Deux enseignants ont abandonné les actions prévues par le design expérimental pour des raisons médicales (un dans chaque condition), ce qui a exclu 51 élèves (1,96%). Notre échantillon final compte donc 2 472 élèves d'âge théorique compris entre 9 à 11 ans (1 235 filles ; 1 172 en CM1 et 1 296 en CM2). Les participants ont été informés que leurs données étaient anonymisées. Parmi les 107 classes recrutées, 36 se trouvaient dans des zones d'éducation prioritaire, c'est-à-dire des zones où l'indice social moyen (calculé sur la base de critères liés aux revenus des familles et au taux de redoublement) donne droit aux écoles à des ressources supplémentaires pour réduire les inégalités de réussite (tableau 2).

Tableau 2. Description des participants

Variables	Total			Groupe Programmation			Groupe Contrôle		
	M	SD	%	M	SD	%	M	SD	%
Enseignants	(N=107)			(n=67)			(n=40)		
1.Age (années)	43,4	8,9	-	42,0	8,8	-	-0,03	1,01	-
2.Femmes	-	-	84	-	-	79	-	-	92
3.Ancienneté dans l'enseignement (années)	16,3	8,4	-	16,2	8,4	-	16,4	8,7	-
4.Plus haut niveau de diplôme (années)	3,9	1,3	-	3,7	1,3	-	4,2	1,3	-
Classes	(N=107)			(n=67)			(n=40)		
5.Zone d'éducation prioritaire	-	-	33	-	-	30	-	-	38
6.Ecoles primaires publiques	-	-	100	-	-	100	-	-	100
Elèves	(N=2472)			(n=1519)			(n=953)		
7.Filles	-	-	50	-	-	50	-	-	49
8.Retard scolaire	-	-	5,8	-	-	5,5	-	-	6,1
9.Avance scolaire	-	-	2,7	-	-	3,5	-	-	1,5
10.CM1	-	-	47,5	-	-	45	-	-	51

2. Procédure

L'intervention dans les classes s'est déroulée sur une durée d'environ cinq mois, d'octobre 2017 à février 2018, auprès d'écoles de la circonscription de Grenoble, région Auvergne-Rhône Alpes (Figure 7).

Les enseignants ont été formés avant la mise en œuvre, par des chercheurs en didactique de l'informatique et des mathématiques, membres de l'équipe de recherche²⁰ (T0). La formation consistait en 3 heures sur la didactique des notions mathématiques à enseigner lors de l'expérimentation, pour les enseignants des deux groupes. Les enseignants du groupe de programmation ont également suivi une formation supplémentaire de 6 heures pour les familiariser avec les nouvelles pratiques liées à *Scratch*.

²⁰ Hamid Chaachoua, Maria-Rosa Crisci et Pierre Tchounikine, du laboratoire d'informatique de Grenoble, Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, LIG, 38000 Grenoble, France.

Suite à cette formation, les enseignants ont reçu des liens pour télécharger la documentation spécifique à leur groupe. Cette documentation indiquait en détail la progression attendue pour chacune des trois notions à enseigner : nombre de séances par notion (3), durée des séances (maximum 50 min par séance), vocabulaire pertinent à utiliser, instructions pour les élèves, procédures attendues, fiches élèves pour les exercices nécessitant une trace écrite. Pour le groupe programmation, les enseignants ont reçu des ordinateurs pour leurs classes de sorte à ce que leurs élèves puissent travailler en binômes ; chaque ordinateur était équipé de *Scratch*.

Avant la mise en œuvre du travail dans les classes (T1), des questionnaires des élèves, pour le recueil des données conatives (détaillées dans la section Mesures de ce chapitre) ; ainsi que le test de performance générale ont été soumis à l'ensemble des classes, sous la supervision de leur enseignant. A cette même période, les enseignants ont rempli des questionnaires en ligne, permettant de recueillir des informations sur leurs pratiques ainsi que leur avis sur la formation Expire.

A partir d'octobre 2017, les séquences de mathématiques ont débuté selon la progression prescrite dans le livret : d'abord la division euclidienne, puis la décomposition additive, puis la résolution de problèmes (pour laquelle nous n'avons pas réalisé de pré et post-tests) et enfin les fractions. Chacune des trois notions ciblées a donné lieu à un prétest (T2, T4, T6) et à un post-test (T3, T5, T7). Enfin, un test final a été réalisé (T8), néanmoins, des erreurs de conception l'ont rendu inexploitable, c'est pourquoi nous ne l'avons pas utilisé pour nos analyses. Ces tests ont été administrés par les enseignants en classe entière, puis codés par l'équipe de recherche et des évaluateurs externes formés par l'équipe de recherche. Les évaluateurs étaient aveugles aux conditions expérimentales.

A la fin de la mise en œuvre du dispositif expérimental dans les classes, les élèves ont été soumis à de nouveaux questionnaires afin de recueillir de nouvelles données conatives, identiques à celles recueillies en T1, sous la supervision de leur enseignant. Les enseignants ont eux aussi à nouveau répondu à des questionnaires en ligne, pour recueillir notamment leur avis sur le déroulement du dispositif dans leur classe (T9).

Enfin, suite à nos mesures, le groupe contrôle a bénéficié de séances *Scratch* pour faire des mathématiques sur d'autres notions, afin de compenser le fait de ne pas avoir utilisé cette pratique au cours des premiers mois. Cette chronologie était annoncée dès le départ aux enseignants afin de ne pas démotiver les enseignants du groupe contrôle comparativement à ceux du groupe programmation.

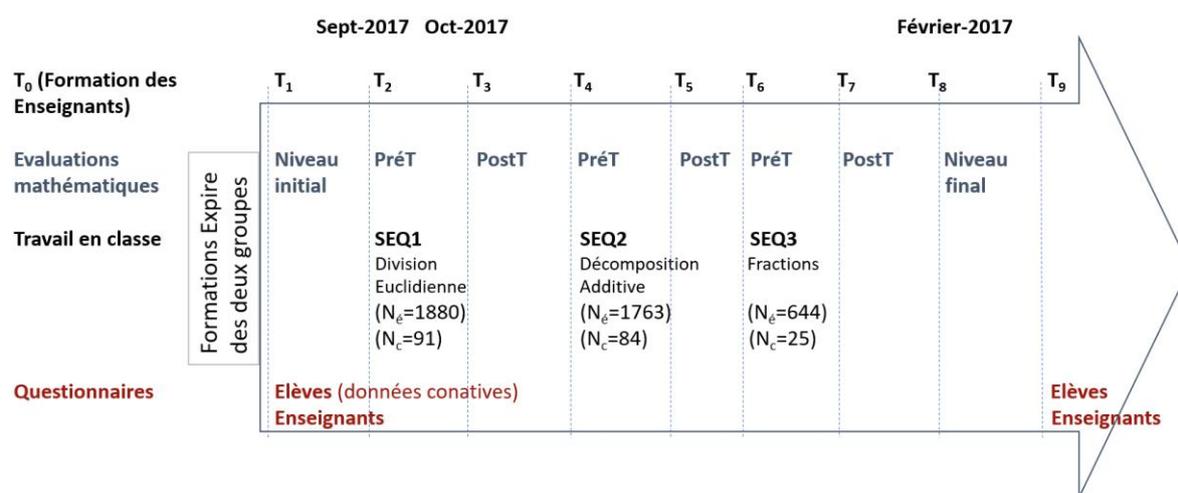


Figure 7. Design de l'expérimentation. Temps de mesures et phases de travail en classe. Note. N_e correspond au nombre d'élèves, N_c correspond au nombre de classes.

3. Conception des activités

A. Principes généraux

Nous présentons ici les éléments nécessaires à la compréhension des principes de conception de notre dispositif. Cet éclairage permet de saisir les différences, en termes d'activités des élèves, existant entre les deux groupes, afin de clarifier les éléments de caractérisation de notre dispositif pour mieux contextualiser les tailles d'effet qui seront présentées dans la partie consacrée aux résultats et les interpréter le plus justement possible. Nous ne proposons pas ici une analyse didactique des séquences mises en œuvre, la thèse de Rosamaria Crisci (Crisci, 2020) a été consacrée à cette analyse, qui ne rentre dans le cadre de notre propos. La conception des séquences des deux groupes est le fruit du travail de l'équipe de didacticiens, nous souhaitons ici simplement en présenter les principes afin d'éclairer la lecture sur le contenu des séquences.

Notions traitées

Les notions sélectionnées devaient être fondamentales du cycle 3 et ont pour cela étaient sélectionnées par les didacticiens de l'équipe (Crisci, 2020). Elles devaient être des notions dont les expressions symboliques mathématiques pourraient être « traduites » en un programme. Les notions géométriques ont d'emblée été écartées car ce sont celles qui sont le plus souvent exploitées dans l'utilisation de la programmation pour faire des mathématiques. Il semblait important d'élargir les connaissances sur l'utilisation de la programmation dans le cadre d'apprentissages mathématiques à une plus grande variété de notions mathématiques. Les trois notions choisies pour évaluer l'expérimentation ont été la division euclidienne, la décomposition additive et les fractions.

Conception des séances

Deux principes ont guidé la conception des activités de nos deux groupes.

(1) Recourir aux activités les plus courantes pour les activités du groupe contrôle.

Nous nous sommes rapprochés le plus possible des activités traditionnellement proposées dans les contextes de classe ordinaire pour planifier les activités du groupe contrôle. Les manuels tels que Cap Maths ou Ermel ont guidé la conception de ces activités. Connus des enseignants qui s'appuient souvent sur leurs progressions pour conduire leurs séances, l'utilisation de ces manuels garantissait une meilleure appropriation du matériel d'une part, et limitait les risques de variabilité des pratiques au sein de ce groupe d'autre part. Certaines séances du groupe incluait des activités de manipulations (division euclidienne et fractions), comme le découpage de rubans par exemple. Pour autant, la manipulation était planifiée uniquement si elle correspondait à une pratique courante pour la notion traitée.

(2) Transposer les activités du groupe contrôle en activités de programmation, au plus près de celles du groupe contrôle.

Il fallait que les situations d'apprentissage « traditionnelles » du groupe contrôle, réalisées avec le matériel habituel de la classe, soient transposables en situations de résolution de problèmes avec un programme. Cela impliquait qu'il soit possible de proposer, par le biais de *Scratch*, un matériel visuel qui serait affiché dans l'espace d'exécution du programme, suffisamment simple pour faciliter la compréhension de la tâche et permette aux élèves de valider leur programme lors de son exécution (l'exécution du programme produit une action

comme le déplacement d'un curseur par exemple, visible sur ce visuel). L'idée clé était que les élèves puissent construire un programme pour résoudre les problèmes posés en lien avec le concept travaillé, qui soit une traduction de l'expression symbolique mathématique à apprendre.

Des binômes de travail dans les deux groupes

Nous avons placé les élèves du groupe programmation en travail par binômes, comme c'est souvent le cas lorsque les activités se font sur ordinateur. Afin que cette modalité n'affecte pas les résultats de l'expérimentation, les élèves du groupe contrôle ont eux aussi été placés en binômes.

Phase d'explicitation du transfert dans le groupe programmation

Dans un premier temps, les binômes et doivent concevoir un programme pour résoudre un problème donné. Cela correspond au schéma des démarches constructionnistes issues du courant socio-constructivistes où les activités de programmation sont mobilisées pour faire des mathématiques. La recherche a montré que ce type de démarche était efficace auprès des élèves forts mais présentaient des freins aux apprentissages pour les élèves plus faibles pour qui des approches explicites plus structurées sont mieux adaptées. Plutôt que d'opposer démarche constructiviste et démarche explicite, nous avons choisi de les exploiter toutes deux pour profiter de leurs points forts. La résolution de problèmes (constructivistes) délivre des activités authentiques, motivantes pour les élèves. Coupler cette démarche à un guidage explicite pour favoriser la compréhension de tous doit pouvoir affecter positivement les acquisitions de tous les élèves.

C'est sur ce principe d'explicitation que repose la phase d'explicitation, centrale pour l'efficacité du groupe expérimental. Cette phase doit permettre de « traduire » (terme employé dans les plans de séquences destinés aux enseignants) les programmes en écriture symbolique mathématique dans le registre numérique. Elle correspond au transfert d'apprentissage à travers la conversion de registres. Nous visons ici un transfert proche (portant entre deux situations relativement similaires) de la programmation vers les mathématiques. C'est un transfert de haut niveau de conscience, soutenu par ce que nous avons nommé une « phase d'explicitation » où les enseignants doivent pointer explicitement les éléments similaires de la situation de programmation vers la situation d'écriture symbolique mathématique. Le transfert est d'autant

plus important dans le cadre des apprentissages mathématiques qu'il s'agit d'un domaine abstrait, qui recourt nécessairement aux registres de représentations pour le rendre concret et manipulable. Le passage d'un registre à un autre est une forme de transfert proche, indispensable à la compréhension profonde des notions mathématiques (Duval, 2006).

Découpage des séquences

Chaque séquence a donné lieu à un plan de séquence différencié selon le groupe d'intervention, fourni à tous les enseignants. Le plan de séquence présentait des objectifs communs aux deux groupes, et contenait toutes les informations nécessaires ainsi que le matériel pour les atteindre. Chaque séquence était découpée en trois séances de 50 minutes. La troisième séance était identique dans les deux groupes et proposait de réinvestir les connaissances des deux séances précédentes, par la résolution de problèmes sur la notion travaillée sans manipulation ni programmation.

B. Exemple de la séquence « division euclidienne »

Cette partie développe l'exemple de la division euclidienne pour permettre de mieux comprendre comment s'est traduite concrètement l'application des principes de conception dans les activités proposées aux élèves des deux groupes. Cet exemple permet aussi d'évaluer à quel point les activités des deux groupes étaient proches.

Les plans de séquence : des objectifs communs aux deux groupes, des chemins différents

Conformément au principe de conception, les plans de la séquence « division euclidienne » fournis aux enseignants sont alignés sur un objectif commun : « travailler le sens de la division euclidienne ». Dans le groupe contrôle il est abordé « à partir de la recherche de nombre de parts dans une situation de partage équitable », tel qu'il est travaillé dans la séquence Cap Maths CM1, tandis que le groupe programmation s'y emploie « à partir d'une situation de déplacement sur une bande numérique ». Les plans de séquences des deux groupes proposent trois séances de travail permettant de répondre à cet objectif s'appuyant sur des activités différentes (tableau 3).

Tableau 3. Descriptif des séances de la séquence « division euclidienne »

	Groupe programmation		Groupe contrôle	
	Objectifs spécifiques	Description	Objectifs spécifiques	Description
Séance 1	Problème de partage avec reste	Résoudre un problème de recherche du nombre de parts dans un partage équitable. Il s'agit de découper un ruban en plusieurs morceaux de même longueur avec des restes	Phase 1 : Travailler les prérequis sur les multiples et les diviseurs	Il s'agit de déplacer un lutin sur la bande numérique pour atteindre une case cible (nombre encadré) en utilisant un type de saut choisi par le binôme d'élèves. Une variante consiste à ne pas passer par des cases spécifiques (bombes)
	Institutionnalisation	Division euclidienne	Phase 2 : Déterminer le quotient, Comprendre le sens du reste	Il s'agit de déplacer un lutin sur la bande numérique pour se rapprocher au maximum d'une case cible, sans la dépasser et en utilisant un type de saut donné. Plusieurs procédures sont possibles
Séance 2	Déterminer le quotient et le reste. Travailler l'écriture de la division euclidienne	Le quotient et le reste doivent être explicités	Déterminer le quotient et le reste. Travailler l'écriture de la division euclidienne	Il s'agit de déplacer un lutin sur une bande numérique pour atteindre une case cible sans la dépasser. Le quotient et le reste doivent être explicités.
			Institutionnalisation	Division euclidienne
Séance 3*	Résolution de problème	Cette séance peut servir d'ajustement pour terminer le travail de la séance 2 si besoin	Résolution de problème	Cette séance peut servir d'ajustement pour terminer le travail de la séance 2 si besoin

(*) Séance identique pour les deux groupes.

Le matériel enseignants correspondant aux fiches de préparations et indications pédagogiques ainsi que le matériel élèves contenant la liste des exercices pour chacun des deux groupes pour les trois séquences de travail est consultable en annexe ([annexe 1](#) à [12](#)), en plus du site ressources²¹.

Focus sur une activité de la séance 2, différenciée selon le groupe

Les deux groupes d'élèves ont été amenés à construire des connaissances similaires par le biais d'activités différentes. Voici un exemple d'activités des deux groupes menées en séance 2, qui portent sur l'objectif : « Déterminer le quotient et le reste. Travailler l'écriture de la division euclidienne ». L'activité du groupe programmation fait appel au transfert d'apprentissage de haut niveau de conscience.

Groupe contrôle

La consigne proposée aux élèves (exercice 7) dans le groupe contrôle est formulée comme ceci :

« Dans chacun des cas suivants, trouvez le quotient et le reste. Vérifiez votre réponse en effectuant le calcul avec parenthèses.
- Combien de fois 7 dans 97 ? »

Préalablement, lors de la séance 1, les élèves ont manipulé des rubans pour répondre à des questions de type : « Combien de rubans de 50 cm peut-on découper dans une bande de 270 cm ? Quelle longueur de tissu reste-t-il ? ». Ils ont testé différentes procédures et appris qu'une réponse du type « nous obtenons 5 fois le ruban de 50 cm et il nous reste 20 cm. » correspond à l'écriture de la division euclidienne : $270 = (5 * 50) + 20$. L'enseignant les accompagne dans ce raisonnement en leur apportant des éléments comme : « partager une bande de 270 cm en rubans de 50 cm : c'est diviser 270 par 50 ».

²¹ Site de ressources à disposition des enseignants : <https://expire.univ-grenoble-alpes.fr/#objectifs>

La séance 2 leur permet de réinvestir les connaissances vues dans la séance précédente, mais cette fois-ci sans utiliser les rubans. Ainsi, la réponse à l'énoncé de l'exercice 7 sera l'écriture symbolique mathématique : $97=(13 * 7) + 6$.

Groupe programmation

Voici maintenant une consigne proposée aux élèves lors de la séance 2 (exercice 9) dans le groupe programmation.

« Ecrivez un programme dans *Scratch* pour permettre au lutin²² d'arriver exactement sur le nombre encadré.
Vous avez le droit d'utiliser le saut 7 autant de fois que vous souhaitez et une seule fois un saut de votre choix entre 1 et 6. Traduisez vos programmes à l'aide d'égalités dans l'espace de réponse. »

La figure 8 présente un exemple de visuel affiché dans l'espace d'exécution du logiciel de programmation, sur lequel va se déplacer le lutin, conformément aux instructions données dans le programme testé par le binôme de travail, en réponse au problème posé. Ce visuel contient quelques particularités qui contraignent l'élève à mobiliser les connaissances mathématiques dont il dispose pour résoudre le problème. Ces contraintes sont portées à la connaissance de l'enseignant dans le document de préparation de cette façon :

²² Le lutin peut prendre plusieurs formes sous *Scratch*. Il peut être un personnage, un objet ou tout simplement un curseur dont on va pouvoir affecter la forme, la couleur, les déplacements par l'exécution d'un programme. Dans notre exemple, le lutin correspond au cercle violet qui va se déplacer sur la bande numérique conformément aux instructions du programme pour atteindre le nombre cible visé.

- Absence de trace des sauts afin de bloquer la procédure basée sur le dénombrement des traces.
- Le Joker oblige le binôme d'élèves à déterminer de façon implicite la valeur du reste et donc de permettre de passer de l'écriture symbolique mathématique cible=(Type de saut * Nombre de sauts) + Joker vers l'écriture de la division $D=(d^*q) + r$.

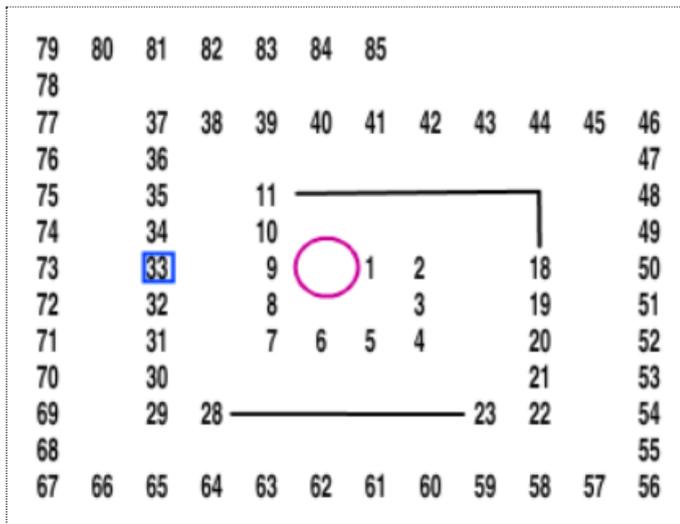


Figure 8. Exemple de visuel affiché dans l'espace d'exécution en support aux activités de la séance 2.

L'activité des élèves consiste dans un premier temps à élaborer un programme permettant de résoudre le problème posé. Les élèves ont à leur disposition pour cela, dans l'espace de programmation, les blocs dont ils peuvent avoir besoin pour résoudre ce problème. Dans la situation présente il s'agit des blocs « sauts » de 1 à 12 et de l'instruction « Répéter ».

La rétroaction directe pour cette activité concerne le déplacement progressif du lutin, représenté par le cercle rose. L'exécution du programme est séquencée de sorte que l'élève ne visualise pas le seul résultat final de son programme (ce serait le cas si le cercle rose atteignait directement le nombre cible suite à l'exécution), il visualise toutes les étapes du déplacement du lutin en correspondance avec les instructions codées (répéter 5 fois un saut de 3, va provoquer cinq mouvements de trois nombres sur le visuel). La rétroaction délivre ainsi une information sur les étapes de réalisation des instructions de l'algorithme du programme, utiles pour le corriger (déboguer) s'il ne produit pas le résultat qui était attendu.

Pour l'exercice présenté, le nombre cible encadré était « 93 ». Le programme solution *Scratch* attendu pour la consigne de cet exercice est « répéter 13 fois [avancer de 7 pas] ; avancer de 6 pas ».

Sur la fiche de travail des élèves, un espace est prévu pour noter la réponse finale, qui correspond à la traduction de leur programme-solution à l'aide d'une égalité. Pour construire cette égalité, les élèves réinvestissent les connaissances qu'ils ont vues lors du bilan de la séance précédente. Au cours de ce bilan, l'enseignant avait pour mission de mettre en œuvre la « phase d'explicitation » qui consistait à soutenir explicitement le raisonnement qui permet de passer de l'écriture d'un algorithme de programmation à l'écriture mathématique symbolique, en pointant explicitement les similitudes entre les deux types d'écriture.

Au cours de cet exercice, les élèves utilisent cette explicitation pour traduire leur algorithme en écriture mathématique symbolique, ce qui est censé faciliter le transfert de connaissance. La traduction de l'algorithme « répéter 13 fois [avancer de 7 pas] ; avancer de 6 pas » permettant d'atteindre la cible 93 sera traduit par l'écriture mathématique symbolique : $93 = (13 * 7) + 6$ (Figure 9).

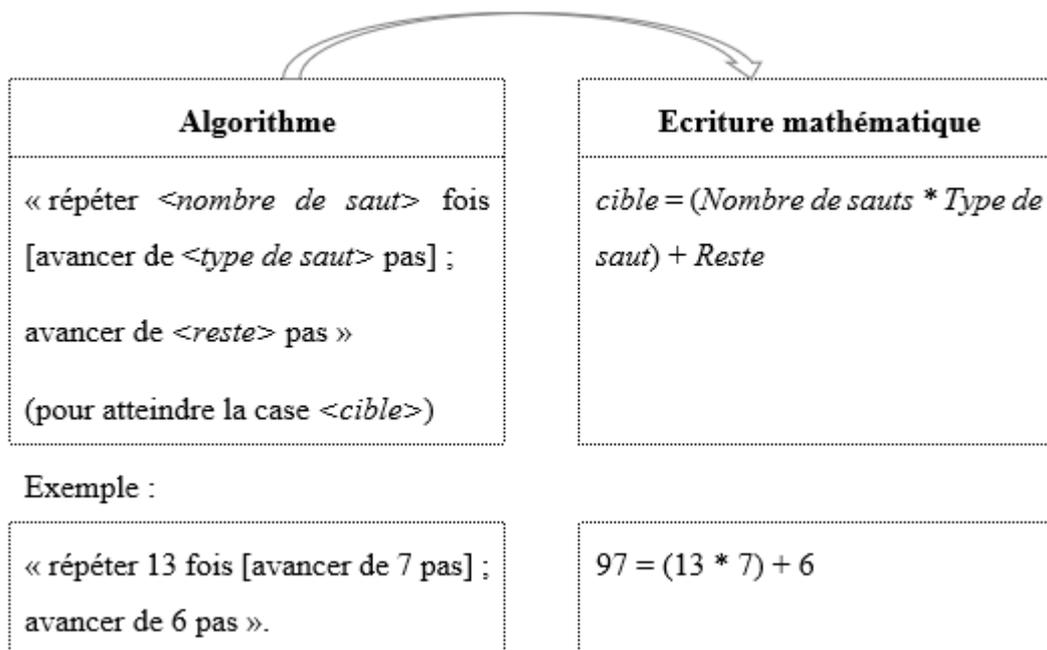


Figure 9. Exemple de traduction de la programmation vers l'écriture symbolique mathématique pour la division euclidienne.

Institutionnalisation / décontextualisation commune aux deux groupes

Au cours de la séance 2 de la séquence sur la division euclidienne, les élèves des deux groupes ont été amenés à résoudre des problèmes (de partage pour le groupe contrôle et de déplacement sur une bande pour le groupe programmation) qui pouvaient se résoudre par la division euclidienne de « a » par « b ». Dans le cas que nous avons présenté pour les deux groupes, nous avons (a=93) et (b=7). La division de 93 par 7 conduisait, aussi bien par l'activité de partage que l'activité de déplacement sur une bande numérique, à l'écriture mathématique symbolique exprimée dans le registre numérique de la façon suivante : $93 = (13 * 7) + 6$. Suite à cette étape, l'objectif était la généralisation de la notion mathématique en produisant son expression symbolique « $a = b * q + r$ », étape importante d'abstraction en vue du transfert d'apprentissage à une variété de problèmes plus larges.

La séance 3 de cette séquence, qui est la dernière pour les deux groupes, est une séance de décontextualisation qui permet aux élèves de réinvestir les connaissances acquises au cours de la séquence, par des activités de résolution de problèmes sur papier, sans manipulation dans un nouveau contexte. Les exercices à résoudre sont par exemple formulés ainsi :

« Sandra a 71 œufs. Elle veut les ranger dans des boîtes.
Une boîte pleine contient 6 œufs.

De combien de boîtes a-t-elle besoin ? »

L'écriture symbolique mathématique $71 = 6 * 11 + 4$ est la solution du problème : il faut 11 boîtes pleines et une boîte remplie avec seulement 4 œufs. Ce qui devrait conduire à la réponse suivante : Sandra a besoin de 12 boîtes pour ranger tous les œufs.

En résumé

Pour la séquence sur la division euclidienne, les activités des deux groupes devaient amener les élèves à construire l'écriture symbolique mathématique « $a = b \cdot q + r$ » qui doit permettre de résoudre les problèmes de division euclidienne proposés en fin de séquence.

Ce principe a été adopté pour chacune des séquences : chaque séquence ciblait une notion mathématique dont l'écriture devait pouvoir être traduite en un programme. Les élèves des deux groupes travaillaient deux séances la notion cible avec des modalités différentes : traditionnelle pour le groupe contrôle, en utilisation la programmation avec *Scratch* pour le groupe programmation. Pour le groupe programmation, plusieurs phases d'explicitation devaient permettre aux élèves de comprendre la correspondance entre registre de programmation et registre de l'écriture mathématique afin de traduire leurs algorithmes en écriture mathématique. La troisième séance était commune aux deux groupes ; elle consistait à produire l'expression symbolique généralisable correspondant à la notion travaillée (l'algorithme du programme pour le registre de la programmation et à l'écriture symbolique mathématique pour le travail sur feuille). Enfin, les élèves étaient amenés à utiliser ces connaissances pour résoudre de nouveaux problèmes sans manipulation ni programmation.

C. Suppléments d'information : séquences de décomposition additive et de fractions.

Décomposition additive

Les activités des deux groupes avaient pour objectif général d'apprentissage de « renforcer l'aspect décimal de la numération », décomposé selon les sous-objectifs suivants :

- ✓ Décomposer un nombre écrit en unités simples en une ou plusieurs unités (séance 1) ;
- ✓ Convertir un nombre, écrit en une seule unité ou plusieurs, en d'autres unités (une ou plusieurs) (séance 2) ;
- ✓ Réinvestir les connaissances en situation de résolution de problèmes (séance 3).

Les exercices du groupe programmation consistaient en la réalisation de programmes qui ajoutent un nombre défini d'unités, de dizaines, de centaines, de milliers et de dizaines de milliers, pour obtenir une valeur cible. Les élèves ont à disposition pour cela les blocs [ajouter 1], [ajouter 10], [ajouter 100], [ajouter 1000], [ajouter 10000] et [répéter] dans l'espace de programmation (figure 10). L'exécution du programme provoque la rétroaction directe liée au calcul, étape par étape. Ainsi, l'élève voit son calcul, affiché dans la zone « Total » se réaliser progressivement, conformément aux instructions de son programme. Par exemple, l'exécution du programme « répéter <3> fois [ajouter <1000>], produit les affichages successifs dans la zone « Total » des valeurs : 0 (valeur de départ), 1000, 2000 puis 3000 (somme atteinte à la fin des trois itérations du programme).

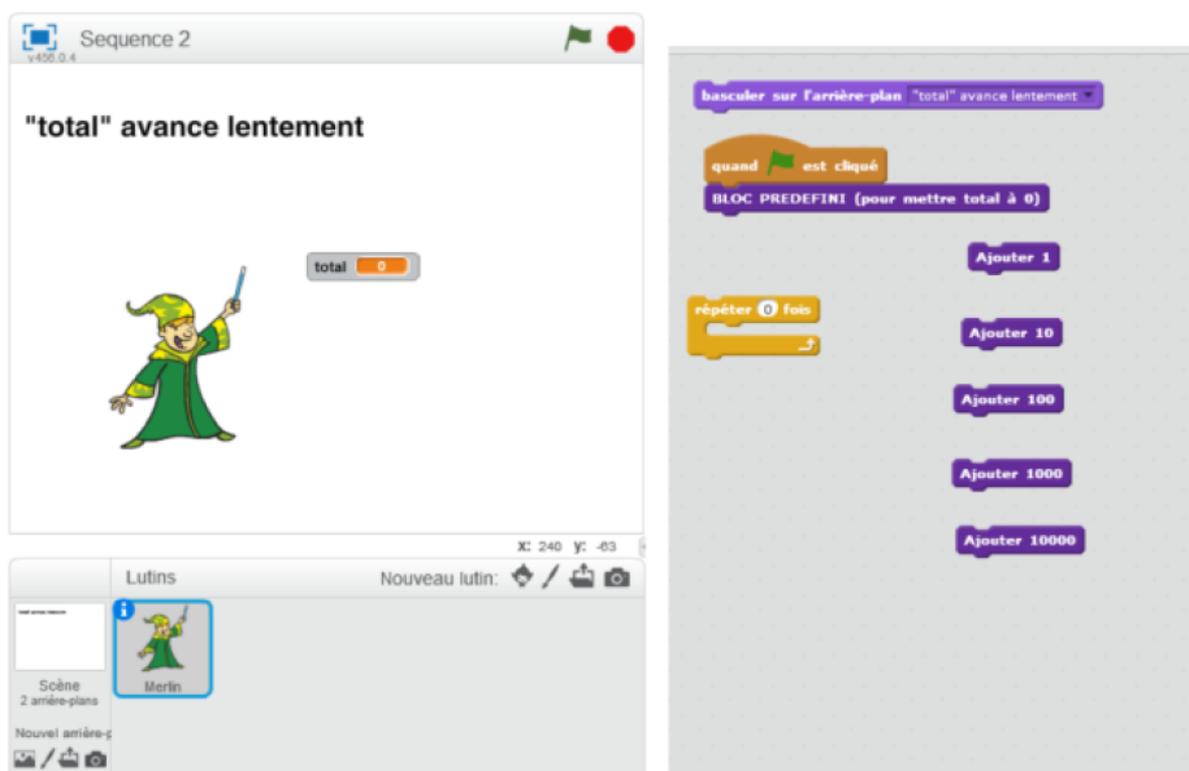


Figure 10. Exemple des espaces de l'écran de programmation pour la séquence décomposition additive. A gauche l'écran de visualisation de l'exécution, avec la zone « Total » initialisée à 0. A droite les blocs codes disponibles pour répondre à la consigne.

Des contraintes étaient parfois ajoutées dans la consigne, telles que l'interdiction d'utiliser certains blocs. Par exemple, il pouvait être demandé d'atteindre le nombre cible « 3852 » sans utiliser le bloc [ajouter 100].

La figure 11, ci-après présente un exemple de traduction des algorithmes des programmes pour les activités de décomposition additive, vers l'écriture symbolique mathématiques.

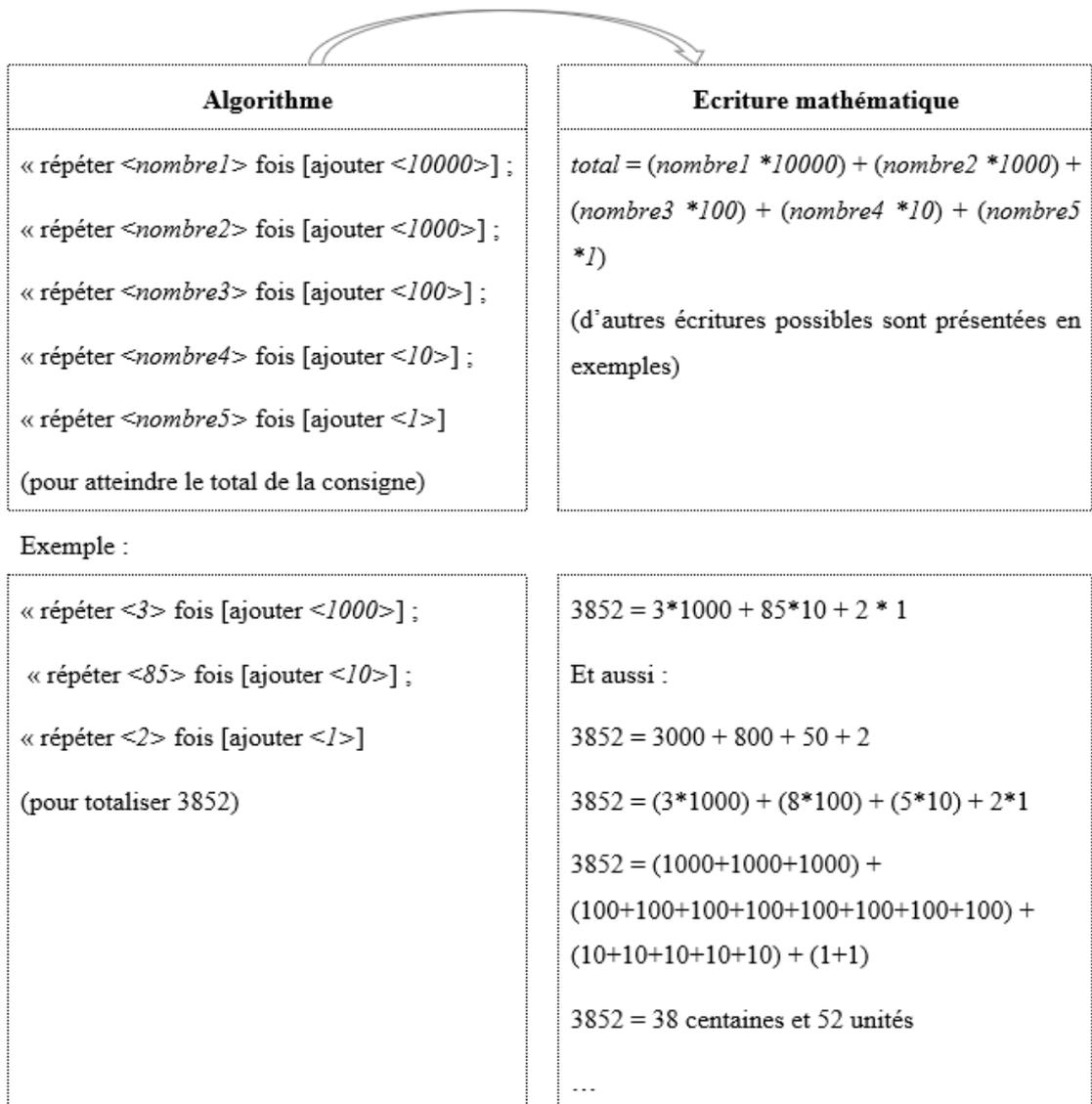


Figure 11. Exemple de traduction de la programmation vers l'écriture symbolique mathématique pour la décomposition additive.

Les exercices du groupe contrôle étaient très similaires. Il s'agissait de faire des opérations en respectant les contraintes (utilisation uniquement des valeurs autorisées).

Fractions

Les activités des deux groupes avaient pour objectif général d'apprentissage de « travailler les équivalences entre les différentes écritures fractionnaires d'un nombre donné sous forme d'écriture décimale, ainsi que les différentes décompositions, selon les sous-objectifs suivants :

- ✓ Exprimer des longueurs à l'aide de la bande unité u et ses fractions. Rappeler le lien avec l'écriture décimale (séance 1) ;
- ✓ Faire le lien entre écriture décimale et écriture fractionnaire. Repérer des points sur une demi-droite graduée à l'aide des fractions (séance 2) ;
- ✓ Faire le lien entre écriture décimale, écriture fractionnaire et décomposition additive en deux phases. Phase 1 : travailler plusieurs décompositions possibles, Phase 2 : vers la décomposition canonique.

Les exercices du groupe programmation consistaient en la réalisation de programmes qui permettent le déplacement du curseur (représenté par un parasol) sur une ligne graduée. Les élèves ont à disposition pour cela des blocs du type : [répéter] et [reporter unité à droite], [reporter demi-unité à droite], [reporter un tiers d'unité à droite] etc. (figure 12). L'exécution du programme provoque comme rétroaction directe le déplacement du curseur sur la ligne graduée conformément aux instructions du programme. Ici encore, la rétroaction est séquencée. Par exemple, l'exécution du programme « répéter $\langle 8 \rangle$ fois [reporter un quart d'unité à droite] ; va provoquer huit mouvements vers la droite du parasol, chaque mouvement correspondant à un quart d'unité. De nombreuses contraintes étaient ajoutées dans les consignes pour imposer ou interdire l'utilisation de certaines fractions.

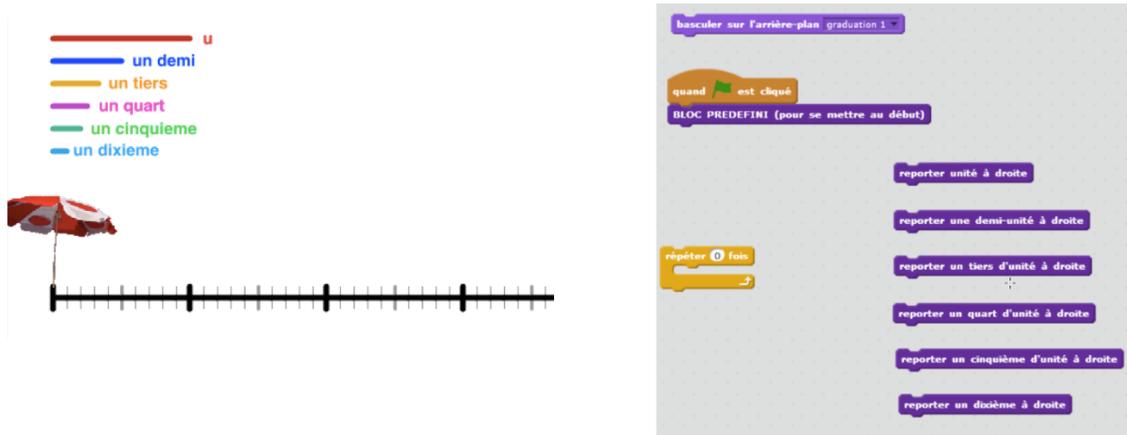


Figure 12. Exemple des espaces de l'écran de programmation pour la séquence des fractions. A gauche l'écran de visualisation de l'exécution. A droite les blocs codes disponibles pour répondre à la consigne.

La figure 13 ci-après présente un exemple de traduction des algorithmes des programmes pour les activités de fractions, vers l'écriture symbolique mathématique.

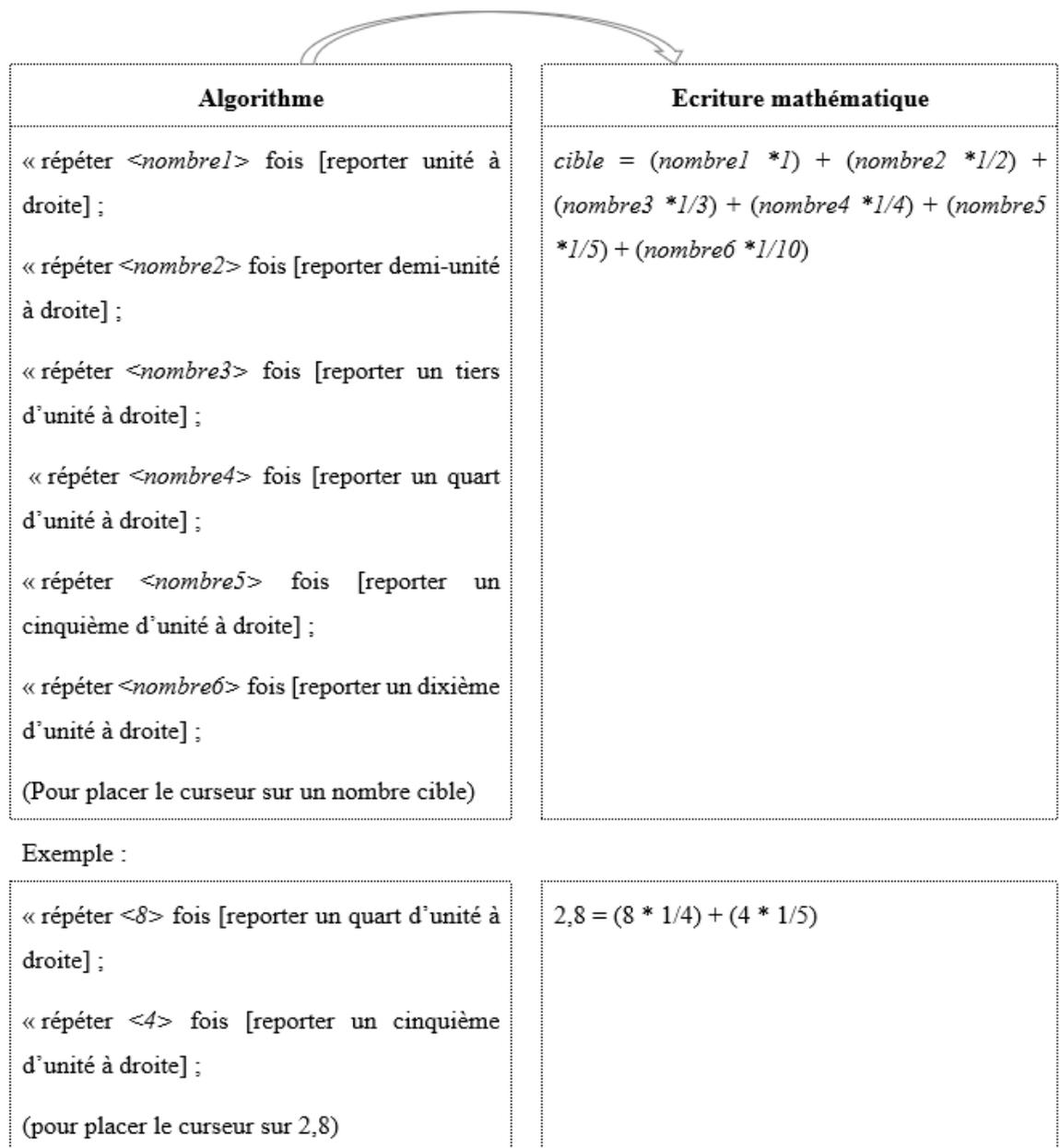


Figure 13. Exemple de traduction de la programmation vers l'écriture symbolique mathématique pour la décomposition additive.

Les exercices du groupe contrôle étaient très similaires. Il s'agissait d'exprimer la longueur d'un bloc d'une longueur donnée (par exemple 2u) à l'aide d'une bande unité et ses fractions. Puis d'exprimer des longueurs à l'aide d'une écriture symbolique mathématique faisant intervenir des fractions. Ici aussi des contraintes étaient ajoutées pour imposer ou interdire l'utilisation de certaines fractions.

4. Mesures

Les données exploitées dans cette recherche sont présentées dans le tableau 4, les questionnaires qui ont permis le recueil de ces données sont consultables en annexes ([13](#) à [24](#)). Certaines données ont été collectées mais n'ont pas été utilisées dans le cadre de notre question de recherche. Nous les présenterons brièvement par souci d'exhaustivité et de clarté.

Tableau 4. Description de la collecte de données brutes

Temps	n Classes	n Elèves	Recueil	Utilisées pour		
				Cog ^a	Con ^b	Imp ^c
T1	107	2470	Réception des informations délivrées par les écoles ²³ : <ul style="list-style-type: none"> - Concernant les élèves : sexe, année de naissance, niveau de classe, position scolaire. - Concernant les classes : zone prioritaire, école, ville. 	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	104	2 349	Questionnaires élèves ²⁴ : <ul style="list-style-type: none"> - Anxiété en mathématiques, sentiment de compétence en mathématiques, motivation autodéterminée en mathématiques, - Autres concepts que nous n'avons pas exploités. 		<input checked="" type="checkbox"/>	

²³ Ces informations nous ont été transmises sous différentes formes, *via* la direction ou les enseignants des établissements.

²⁴ Voir [annexe 13](#) pour le questionnaire élève en T1.

98			Questionnaires enseignants ²⁵ :	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			- Pour les enseignants du groupe programmation : Familiarité avec l'informatique, questions sur la formation Expire,			
			- Sexe, âge, ancienneté dans le niveau, ancienneté en tant qu'enseignant, plus haut niveau d'étude, formation scientifique,			
			- Questions sur les pratiques de classes que nous n'avons pas exploitées.			
	94	2377	Test de mathématiques pour le score général initial ²⁶	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
T2	103	2264	Prétest, division euclidienne ²⁷	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
T3	100	2161	Post-test, division euclidienne ²⁸	<input checked="" type="checkbox"/>		
T4	104	2265	Prétest, décomposition additive ²⁹	<input checked="" type="checkbox"/>		
T5	93	2073	Post-test, décomposition additive ³⁰	<input checked="" type="checkbox"/>		
T6	49	868	Prétest, fractions ³¹	<input checked="" type="checkbox"/>		
T7	48	869	Post-test, fractions ³²	<input checked="" type="checkbox"/>		
T8	106	2036	Test de mathématiques pour le score final ³³ (données non exploitées)			
T9	91	1969	Questionnaires élèves ³⁴ :	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			- Anxiété en mathématiques, sentiment de compétence en mathématiques, motivation autodéterminée en mathématiques,			
			- Autres concepts que nous n'avons pas exploités.			

²⁵ Voir [annexe 14](#) pour le questionnaire enseignant en T1.

²⁶ Voir [annexe 15](#) pour les consignes de passation du test initial en T1 et le test.

²⁷ Voir [annexe 16](#) pour le prétest division euclidienne en T2.

²⁸ Voir [annexe 17](#) pour le post-test division euclidienne en T3.

²⁹ Voir [annexe 18](#) pour le prétest décomposition additive en T4.

³⁰ Voir [annexe 19](#) pour le post-test décomposition additive en T5.

³¹ Voir [annexe 20](#) pour le prétest fractions en T6.

³² Voir [annexe 21](#) pour le post-test fractions en T7.

³³ Voir [annexe 22](#) pour le test final en T8.

³⁴ Voir [annexe 23](#) pour le questionnaire élève en T9.

- Comportements des élèves au cours des séquences (non exploité).
- Qualité des séquences du dispositif,
- Pour les enseignants du groupe programmation uniquement : indicateurs d'implantation.

^a : « Cog » signifie que ces données ont été utilisées pour les analyses des modèles cognitifs,

^b : « Con » signifie qu'elles ont été utilisées pour les analyses des modèles conatifs.

^c : « Imp » signifie qu'elles ont servi à évaluer l'implantation.

A. Informations délivrées par les écoles (T1)

Des informations ont été récoltées par l'ingénieure en charge du projet Expire qui a échangé avec les écoles pour constituer une base d'informations relatives aux données sociodémographiques des élèves et aux caractéristiques des écoles.

Données Sociodémographiques élèves. Ont été récoltés le sexe (variable dichotomique codée 1 si c'est une fille, 0 si c'est un garçon), l'année de naissance, le niveau scolaire (variable dichotomique nommée CM2, codée 1 quand le niveau de l'élève est CM2, 0 quand le niveau de l'élève CM1), la position scolaire (par rapport au niveau de classe approprié pour leur âge, codé selon trois modalités : -1 si l'élève est plus âgé que l'âge approprié selon le niveau de classe, 0 si son âge correspond à son niveau de classe, 1 si l'élève est plus jeune).

Informations concernant les classes. Ces données permettent de caractériser les classes en indiquant leur zone d'éducation (variable dichotomique codée 1 si zone d'éducation prioritaire REP ou REP+, 0 sinon), l'école (code attribué à chaque école sur deux chiffres de 10 à 55), sa commune ainsi que le groupe d'affectation de la classe (codé 0 pour le groupe témoin et 1 pour le groupe programmation).

³⁵ Voir [annexe 24](#) pour le questionnaire enseignants en T9.

B. Questionnaires élèves (T1 et T9)

Les données conatives ont été recueillies en T1 et en T9, en fin d'expérimentation. Ces données serviront de variables dépendantes pour les modèles conatifs. Le recueil des données a nécessité l'utilisation de différentes échelles de mesures dont le détail sera présenté au fur et à mesure qu'elles seront mentionnées. Les questions permettant leur mesure ont pu être formulées à l'inverse du concept. Par exemple, la question « habituellement, lorsque je dois faire des mathématiques en classe, je suis content(e) » utilisée pour mesurer l'anxiété sur une échelle de Likert en 4 points (de 1 : « jamais » à 4 : « tout le temps ») est recodée de cette façon : 1 devient 4, 2 devient 3, 3 devient 2 et 4 devient 1. De cette façon, plus l'élève répond positivement à cette question, moins son anxiété sera codée comme forte. Le cas échéant, les items qui les renseignaient auront été inversés préalablement au calcul des scores globaux (moyennes ou scores factoriels) pour les analyses.

Anxiété en Mathématiques (T1, T9). Il s'agissait de l'échelle adaptée de Pouille (2016) en 6 questions du type : « habituellement lorsque je dois faire des mathématiques en classe, j'ai peur » auxquelles les élèves répondaient en fonction de leur degré d'accord sur une échelle de Likert en 4 points (de 1 : « jamais » à 4 : « tout le temps »).

L'analyse du Scree Plot, issu de l'analyse en composante principale (ACP) de ses *items* indique la possibilité d'une échelle à une ou deux dimensions. Néanmoins, la structure théorique attendue correspond à une structure unidimensionnelle, nous avons donc poursuivi nos analyses en conservant la structure théorique d'une seule dimension. *L'Alpha* de Cronbach pour cette échelle présente une fidélité assez faible en T1 ($\alpha=0,66$) et satisfaisante en T9 ($\alpha=0,71$).

Sentiment de compétence en mathématiques (T1, T9). Mesuré à l'aide de l'échelle de Harter (1985) sur la dimension « Scholastic Competence » (Compétences scolaires), adaptée aux mathématiques, en 5 questions du type « J'ai toujours bien réussi en maths » sur une échelle de Likert en 5 points (de 1 : « pas du tout vrai pour moi », à 5 : « tout à fait vrai pour moi »).

Cette échelle mesure le sentiment de compétence perçu en mathématiques. L'analyse du Scree Plot issu de l'ACP valide la structure théorique attendue de cette échelle sur une dimension. *L'Alpha* de Cronbach pour cette échelle présente une fidélité très satisfaisante en T1 ($\alpha=0,89$) comme en T9 ($\alpha=0,90$).

Motivation autodéterminée en mathématiques (T1, T9). L'échelle a été réduite à trois dimensions – Motivation contrôlée, motivation identifiée, motivation intrinsèque - pour s'adapter à l'âge des enfants (Guay *et al.*, 2010). Chaque dimension était évaluée sur une échelle de Likert en 4 points (de 1 : « pas du tout d'accord » à 5 : « tout à fait d'accord »).

La première dimension renvoie à la motivation contrôlée à faire des mathématiques, indiquant que l'élève fait des mathématiques pour éviter d'être puni ou pour être récompensé (e.g., « Je fais des maths pour faire plaisir à mes parents ou à mon enseignant »). La seconde dimension renvoie à la motivation identifiée à faire des mathématiques, indiquant que l'élève fait des mathématiques parce qu'il a conscience que cela peut lui être utile (e.g., « Je veux faire des maths pour apprendre plein de choses »). Enfin, la troisième dimension renvoie à la motivation intrinsèque à faire des mathématiques, indiquant que l'élève prend plaisir à faire des mathématiques, *per se* (e.g., « Je fais des maths même lorsque je ne suis pas obligé de le faire »).

Les ACP réalisées pour les mesures en T1 et T9 montrent une indépendance entre les *items* relatifs à la motivation contrôlée avec les *items* des dimensions intrinsèque et identifiée. Cette indépendance est davantage marquée en T9. Par ailleurs, les *items* des dimensions identifiée et intrinsèque semblent fortement corrélées ([annexe 25](#)).

L'analyse des Scree Plot issu de l'ACP des *items* de la motivation autodéterminée indique une structure factorielle correspondant à nos attentes théoriques, en trois dimensions pour les deux temps de mesure ([annexe 26](#)).

Les analyses indiquent que les *items* saturent convenablement sur les dimensions correspondant aux attentes théoriques. L'*alpha* de Cronbach pour la motivation contrôlée est satisfaisant en T1 ($\alpha=0,70$) et très satisfaisant en T9 ($\alpha=0,77$), celui de la motivation identifiée est assez faible en T1 ($\alpha=0,67$) et satisfaisant en T9 ($\alpha=0,72$), enfin celui de la motivation intrinsèque est très satisfaisant en T1 ($\alpha=0,77$) et un peu faible en T9 ($\alpha=0,69$).

Autres mesures conatives (T1, T9). D'autres données conatives ont été recueillies lors des passations des questionnaires élèves, néanmoins nous ne les détaillons pas car elles n'ont pas été utilisées pour la présente recherche. Il s'agissait de la mesure de l'estime de soi global (6 questions), l'estime de soi scolaire (6 questions), la motivation à l'école (6 questions) et en T9 seulement une mesure de perception d'enseignement explicite.

C. Questionnaires enseignants (T1)

Avant la mise en œuvre de l'expérimentation, en T1, nous avons recueilli par questionnaires en ligne des données relatives aux croyances des enseignants et à leurs pratiques de classe (que nous n'avons pas exploitées dans le cadre de cette recherche), des données sociodémographiques, leur degré d'aisance avec les mathématiques et l'informatique, et enfin leur avis sur la formation reçue dans le cadre du dispositif Expire.

Croyances et pratiques des enseignants. Les données présentées ci-après ont été recueillies ; néanmoins, elles n'ont pas été utilisées pour notre étude, c'est pourquoi nous ne les détaillerons pas. Il s'agissait de la mesure autorapportée de la régulation des apprentissages (12 questions), du type d'enseignement : découverte ou explicite (10 questions mesurant 2 dimensions : découverte et explicite en 5 questions chacune), l'utilisation de gestes explicites (21 questions mesurant 3 dimensions : ressources, apprentissages et guidage en 7 questions chacune), le sentiment d'auto-efficacité (4 questions) et les croyances concernant l'intelligence (4 questions).

Données sociodémographiques. Une partie des données recueillies concernait les enseignants : leur âge, leur sexe (variable dichotomique codée 1 si c'est une femme, 0 si c'est un homme), leur ancienneté dans l'enseignement, dans l'école et dans le cycle d'apprentissage, leur plus haut niveau d'étude après le baccalauréat (codé en six modalités : 0, 2, 3, 4, 5 ou 8, correspondant au nombre d'années d'études après le baccalauréat), le type d'études (tableau 5), recodé une variable indiquant si cette formation était scientifique (variable dichotomique codée 1 si l'enseignant a étudié dans des filières scientifiques telles que l'informatique, les mathématiques, les sciences et 0 sinon).

Tableau 5. Cursus universitaire des enseignants

	Domaine	Nombre	%	% Cumulé
Formation scientifique	Informatique	4	3,7	29,0
	Mathématiques	2	1,9	
	Sciences (hors maths et informatiques)	25	23,4	
Formation non scientifique	Art, lettres et langues	19	17,8	62,6
	Sciences humaines et sociales	32	29,9	
	Autres	16	15,0	
Manquant		9	8,4	8,4

N=107

Degré d'aisance avec les mathématiques et l'informatique. Une série de 11 questions demandait le degré d'accord des enseignants sur une échelle de Likert (en 4 ou 5 points) sur des questions du type : « Vous vous sentez à l'aise avec les mathématiques ? ». Une série de 3 questions (que nous n'avons pas utilisées) sondait le temps que passaient les enseignants à la préparation de leurs séquences de mathématiques en ciblant différents points clés ; enfin, nous récoltions le nombre de formations en mathématiques suivies au cours des 5 dernières années.

Les enseignants qui ont fait des études scientifiques ont davantage tendance à se sentir à l'aise avec les mathématiques (tableau 6) et l'informatique (tableau 7).

Tableau 6. Perception d'aisance avec les mathématiques selon la formation.

	Pas d'accord		Plutôt d'accord		D'accord		Tout à fait d'accord	
	Nbr	%	Nbr	%	Nbr	%	Nbr	%
Formation non scientifique n=67	3	4,5	19	28,4	27	40,3	18	26,9
Formation scientifique n=31	0	0,0	1	3,2	7	22,6	23	74,2
Total N=98	3	3,1	20	20,4	34	34,7	41	41,8

Tableau 7. Perception d'aisance avec l'informatique selon la formation.

	Pas du tout d'accord		Pas d'accord		Plutôt d'accord		D'accord		Tout à fait d'accord	
	Nbr	%	Nbr	%	Nbr	%	Nbr	%	Nbr	%
Formation non scientifique n=67	5	7,5	20	29,9	22	32,8	16	23,9	4	6,0
Formation scientifique n=31	1	3,2	3	9,7	7	22,6	9	29,0	11	35,5
Total N=98	6	6,1	23	23,5	29	29,6	25	25,5	15	15,3

Avis sur la formation reçue. Cinq questions ont été posées à tous les enseignants à propos de la formation Expire avec des propositions du type « En sortant de la formation Expire, vous aviez l'impression de maîtriser de la séquence de décomposition des nombres entiers. » auxquelles les enseignants répondaient selon leur degré d'accord avec une échelle de Likert en 5 points.

Les enseignants du groupe programmation répondaient à deux questions supplémentaires en lien avec les nouvelles pratiques introduites par le dispositif « Si concerné : en sortant de la formation Expire, vous aviez l'impression de maîtriser suffisamment *Scratch* pour mener à bien les séquences de mathématiques proposées ? » auxquelles les enseignants répondaient selon leur degré d'accord avec une échelle de Likert en 5 points.

D. Questionnaires enseignants (T9)

A la fin de l'expérimentation, nous avons recueilli auprès des enseignants, par questionnaires en ligne, des éléments permettant d'évaluer la qualité de l'implantation du dispositif, notamment dans la condition programmation. Il s'agissait de vérifier l'acceptabilité de la pratique de la programmation dans l'enseignement des mathématiques, mais également d'évaluer l'adhésion aux pratiques du dispositif.

Acceptation du dispositif. Ces questions ont été posées aux enseignants des deux groupes. Une première série de question concernait le comportement des élèves pendant les séances (5 questions) du type : « Les élèves ont été régulièrement attentifs » auxquelles les enseignants répondaient en fonction de leur degré d'accord sur une échelle de Likert en 5 *items* (de 1 : « pas du tout d'accord » à 5 : « tout à fait d'accord »). Une deuxième série de question s'intéressait à la qualité de conduite des séquences du dispositif (4 questions, une par séquence) du type : « Par rapport à la conduite des séquences d'enseignement de mathématiques habituelle, vous estimez que la qualité de la conduite de l'enseignement dont ont bénéficié les élèves pour les séquences du projet Expire était globalement : Séquence #1 (division euclidienne) (1) », auxquelles les enseignants répondaient selon leur degré d'accord sur une échelle de Likert en 3 points (de 1 : « qualité vraiment dégradée » à 3 : « qualité non dégradée »).

Adhésion au dispositif. Les questions suivantes étaient posées au groupe d'enseignants de la condition programmation uniquement. Pour chaque séquence (division euclidienne, décomposition additive, résolution de problème et fractions) les mêmes questions étaient posées. Une première question permettait de savoir si les enseignants avaient passé du temps à verbaliser, expliciter les liens entre programmation et mathématiques (variable dichotomique codée 0 pour non, 1 pour oui). Les enseignants indiquaient un temps alloué à cette explication en minutes (donnée inexploitable car trop de variabilité probablement due à trop de subjectivité) ainsi qu'une proportion d'élèves qui selon eux qui avaient compris le lien entre les deux domaines (un décimal compris entre 0 et 1).

A tous les enseignants, il était également proposé de commenter, proposer des suggestions d'amélioration pour chaque séquence (texte libre) et sur l'étude de façon plus générale.

E. Scores d'acquisition en mathématiques

Les performances des élèves ont été évaluées tout au long de l'expérimentation, à huit occasions. Chaque test de performance contenait un certain nombre de questions, le même nombre pour les pré et post tests sur la même notion. Pour chaque question, les points attribués étaient 0 si la réponse était fausse, 1 si elle était juste. Le score global de chacun des tests a été construit en additionnant les sous-scores de chaque question. Ce score global a ensuite été centré et réduit, afin de faciliter les comparaisons de la taille de l'effet entre les différentes notions.

Test initial (T1)

Le test initial dit « d'entrée », en amont de l'expérimentation (T1) a permis de recueillir le niveau général initial des élèves. Il mesurait les compétences clés, normalement acquises à la fin de la CE2, en se basant sur les évaluations du Ministère de l'Education Nationale (2006). Il ciblait trois compétences clés : la connaissance des nombres, le calcul et la résolution de problèmes en seize questions. *L'alpha* de Cronbach du test général d'entrée est très satisfaisant ($\alpha=0,80$).

Pré et post-tests (T2, T3, T4, T5, T6, T7)

Les acquisitions mathématiques ont été évaluée par prétest et post-test pour trois des notions étudiées, selon ce déroulé chronologique : division euclidienne (T2, T3), décomposition additive (T4, T5), et fractions (T6, T7). Le prétest et le post-test comportaient des *items* similaires, ciblés sur les compétences spécifiques impliquées dans la notion étudiée. Par exemple pour la division euclidienne, un exercice impliquait de rechercher le nombre de groupements nécessaires pour distribuer 448 timbres par groupements de 32 timbres par page (prétest), et rechercher le nombre de groupements nécessaires pour répartir 468 élèves en regroupant 36 élèves par bus (post-test). Les prétest et post-test sur la division euclidienne exigeaient 7 réponses de la part des élèves, ceux sur la décomposition additive 8 réponses et ceux sur les fractions 10 réponses.

Les *alpha* de Cronbach des prétests et post-tests de division euclidienne (T2, T3) étaient tous deux de très satisfaisants ($\alpha=0,81$ pour les deux mesures). Concernant la décomposition additive (T4, T5), nous avons obtenu un *alpha* de Cronbach $\alpha=0,72$ pour le prétest, et $\alpha=0,80$ pour le post-test. Enfin, pour les fractions (T6, T7), les *alpha* de Cronbach obtenus ont été de $\alpha=0,78$ pour le prétest, et $\alpha=0,83$ pour le post-test. Ces éléments indiquent une bonne fiabilité interne des mesures liées aux tests de performance.

Test final (T8)

Un test final a également été proposé aux élèves. Cependant nous n'avons pu l'exploiter car il ne proposait que trois questions aux élèves et n'était pas aligné sur les notions que les élèves avaient développées au cours des séances de travail.

5. Assignment aléatoire

Les écoles ont été utilisées comme unité d'affectation aléatoire dans les deux groupes : programmation (n=28) et contrôle (n=18). Le groupe « programmation » est surreprésenté car il comprend un groupe d'écoles qui devait faire l'expérience du dispositif plus des activités extrascolaires. Il s'agissait initialement d'une troisième condition pour laquelle les élèves du groupe d'intervention devaient suivre, en supplément des activités proposées en classe, des activités extrascolaires pendant les vacances dans les MJC de quartiers. Ces activités devaient permettre d'utiliser *Scratch* de façon créative et ludique, sans lien avec les mathématiques. Il s'agissait d'évaluer si les élèves rendus plus familiers de *Scratch* avec de telles activités réussiraient davantage les séquences proposées en classe dans les groupes « programmation ». Néanmoins, ces activités ont été proposés aux élèves par chaque communauté (écoles, MJC, ville) selon leurs propres modalités, hétérogènes, à tous les enfants, qu'ils fassent ou non partie du dispositif expérimental ; de plus, très peu d'enfants se sont portés volontaires pour suivre ces activités. Enfin, aucun suivi n'a permis d'identifier les élèves concernés. Cette absence de cadrage et cette mise en œuvre éloignée des attendus pour le projet, nous ont fait perdre la main, rendant le peu d'informations obtenues inexploitable. Aussi, au lieu des trois conditions souhaitées (groupe contrôle, groupe programmation en classe, groupe programmation en classe et hors classe), nous n'avons que deux groupes : le groupe programmation et le groupe contrôle. L'effet de notre dispositif expérimental de programmation, comparativement à la condition

contrôle, a été testé sur les performances (modèles cognitifs) et sur les variables conatives (modèles conatifs).

En raison de certaines données manquantes à différents moments du dispositif, les échantillons pour analyser les différentes variables dépendantes, en lien avec nos hypothèses, varient quelque peu en taille. Concernant les hypothèses dites « cognitives » l'échantillon « division euclidienne » comprend 1880 élèves, l'échantillon « décomposition additive » comprend 1 763 élèves et l'échantillon « fractions » comprend 644 élèves (uniquement des élèves de CM2). Concernant les hypothèses dites « conatives », l'échantillon comprend 1740 élèves.

6. Homogénéité des groupes avant intervention

A. Modèles sur les acquisitions mathématiques

Des régressions linéaires *post hoc* des prétests de chaque séquence ont été réalisées en intégrant les variables de contrôle qui étaient significatives dans les modèles cognitifs présentés dans la section précédente. Nous avons intégré le groupe (contrôle ou programmation), afin de nous assurer l'homogénéité des groupes avant l'intervention (tableau 13).

Tableau 8. Régressions linéaires expliquant les prétests des trois notions

Variables	Prétest (T2) Division euclidienne	Prétest (T4) Décomposition additive	Prétest (T6) Fractions
Constante	-0,559***	-0,28 ^{ns}	-0,517***
CM2	0,481***		
Niveau de classe/âge	0,466***	0,275***	
Zone édu prio	-0,406***		-0,715***
Programmation	0,054 ^{ns}	0,59 ^{ns}	-0,103 ^{ns}
	<i>n</i> =1880	<i>n</i> =1763	<i>n</i> =644

* $p < ,05$. ** $p < ,01$. *** $p < ,001$.

Pour chaque séquence, les régressions linéaires expliquant le prétest montrent que ces scores sont significativement expliqués par les variables de contrôle utilisées pour les modèles expliquant les post-tests des mêmes notions à l'exception du groupe d'intervention. Ainsi, pour la séquence de la division euclidienne le coefficient associé au groupe programmation, en contraste avec le groupe contrôle vaut $\beta=0,054$, $p=0,23$, pour la division euclidienne, $\beta=0,059$, $p=0,22$ pour la décomposition additive, et $\beta=-0,103$, $p=0,191$ pour la séquence des fractions, et est non significatif dans tous les cas.

Ces éléments nous permettent de considérer que les différences observées entre les élèves lors des prétests des différentes séquences reflètent un éventail de performances dues aux variables que nous avons contrôlées, mais sont réparties de manière homogène entre les deux groupes.

B. Modèles conatifs

Afin de nous assurer l'homogénéité des groupes avant l'intervention, sur la base des variables qui ont montré des effets significatifs dans les modèles multiniveaux conatifs précédemment présentés, nous avons réalisé des régressions linéaires *post hoc* des prétests de chaque mesure conative (tableau 20). Ces régressions ont intégré les variables de contrôle qui étaient significatives dans les modèles conatifs présentés dans la section précédente, ainsi que le groupe (contrôle ou programmation).

Tableau 9. Régressions linéaires expliquant les prétests des cinq variables conatives

Variables	Motivation Intrinsèque (T1)	Motivation Identifiée (T1)	Motivation Contrôlée (T1)	Sentiment de compétence (T1)	Anxiété (T1)
Constante	0,05 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,11 [*]	-,23 [*]	0,22 ^{***}
Test entrée (T1)			-0,29 ^{***}	0,30 ^{***}	0,26 ^{***}
Fille CM2	-0,24 ^{***}	-0,07 ^{ns}	-0,14 ^{**}	-0,44 ^{***}	-0,43 ^{***}
Retard scolaire Zone édu prio ET test entrée (T1)	0,09 ^{ns}		0,22 [*]	-0,11 ^{ns}	0,18 ^{***}
Programmation	0,14 ^{**}	0,13 ^{**}	-0,08 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,00 ^{ns}

$N=1740$

* $p < ,05$. ** $p < ,01$. *** $p < ,001$.

Pour chaque mesure conative, les régressions linéaires expliquant le prétest montrent que ces scores sont globalement significativement expliqués par les variables de contrôle utilisées pour les modèles expliquant les post-tests des mêmes construits. Concernant l'effet du groupe d'intervention, en cohérence avec les résultats des *t* de Student (présentés dans la section description des variables du chapitre III), nous trouvons que deux mesures conatives étaient significativement mais légèrement différentes selon le groupe en début d'intervention. Il s'agit des mesures de régulation intrinsèque et identifiée de la motivation.

Ces éléments nous permettent de considérer que les différences observées entre les élèves lors des prétests pour les construits conatifs, à l'exception de la motivation intrinsèque et la motivation identifiée, présentent une variabilité due aux variables que nous avons contrôlées, mais sont réparties de manière homogène entre les deux groupes.

Chapitre II – Efficacité des activités mathématiques utilisant la programmation visuelle sur les apprentissages mathématiques

1. Analyses des données

Nos trois variables dépendantes pour les modèles cognitifs, c'est-à-dire les modèles s'intéressant à l'effet du dispositif de programmation sur les performances mathématiques, sont les scores centrés et réduits du post-test de chacune des trois notions (T3, T5 et T7).

Nous avons utilisé, pour nos analyses, une approche de modélisation statistique multiniveau en raison de l'imbrication des élèves dans les classes (en utilisant les logiciels IBM SPSS Statistics 25.0 et R). Ces analyses permettent d'attribuer l'explication des variables dépendantes au bon niveau (Bressoux, 2010). Nous avons d'abord construit des modèles à 3 niveaux incluant le niveau de l'école. Cependant la variance entre les écoles n'était pas significative et les valeurs des coefficients de corrélation intraclasse (ICC) étaient trop faibles pour justifier la prise en compte de ce niveau d'analyse. Les ICC étaient de 0,050 pour la division euclidienne, de 0,040 pour la décomposition additive et de 0,028 pour les fractions. Les écoles ont été choisies comme unités de randomisation (pour éviter que plusieurs classes d'une même école ne fassent partie de groupes expérimentaux différents), mais n'ont donc pas été incluses comme niveau d'analyse.

Notre procédure de spécification du modèle a impliqué quatre étapes : nous avons d'abord estimé pour chaque notion un modèle vide à deux niveaux (élèves, classes), afin d'estimer la variance intraclasse et la variance inter-classe. Deuxièmement, nous avons ajouté des variables de niveau 1 (niveau élève) dans le modèle. Troisièmement, nous avons ajouté des variables de niveau 2 (niveau classe). À chaque étape, les variables non significatives ont été retirées du modèle afin d'ajuster les modèles parcimonieux expliquant la performance finale de chaque notion. Enfin, nous avons ajouté notre variable d'intérêt : l'appartenance ou non des élèves au

groupe de programmation, afin d'estimer l'effet de l'expérience sur les variables dépendantes, toutes choses étant égales par ailleurs. Pour une meilleure lisibilité, nous présentons dans ce manuscrit uniquement les modèles vides et parcimonieux. Les quatre étapes des modèles sont consultables en annexes ([annexe 27](#) pour la division euclidienne, [annexe 28](#) pour la décomposition additive et [annexe 29](#) pour les fractions).

A. Variables contrôles de niveau 1 (élèves)

Afin de contrôler l'effet du niveau initial, nous avons entré dans chaque modèle deux scores de mathématiques initiaux : le test d'entrée général ainsi que le prétest de la notion analysée dans le modèle. Nous avons également inclus le niveau de classe des élèves (CM1 ou CM2) et leur position scolaire (retard, normal ou en avance). Nous avons contrôlé le sexe car être une fille tend à affecter négativement les performances en mathématiques.

B. Variables contrôles de niveau 2 (classes)

Au niveau 2, la composition des classes a été contrôlée en utilisant à la fois les moyennes de classe au test d'entrée et au prétest de la notion analysée, et l'hétérogénéité des classes, mesurée par les écarts types des classes à ces mêmes tests.

L'appartenance à une zone d'éducation prioritaire a été contrôlée ainsi que des variables relatives aux caractéristiques des enseignants : sexe, ancienneté dans la profession, plus haut niveau d'études après le baccalauréat, et formation scientifique.

C. Description des échantillons

Le pourcentage de données manquantes pour les variables incluses dans les analyses des modèles cognitifs variait de 0,48 % à 12,58 % pour la division euclidienne, de 0,04 % à 16,04 % pour la décomposition additive et de 0,23 % à 32,81 % pour les fractions (élèves de CM2 uniquement).

Ainsi, l'échantillon complet utilisé pour la division euclidienne, comprend 91 classes : 56 du groupe programmation et 35 du groupe contrôle, soit 1 880 élèves. L'échantillon complet utilisé pour la décomposition additive comprend 84 classes : 49 du groupe programmation et 35 du groupe contrôle, soit 1 763 élèves. Enfin, l'échantillon complet utilisé pour les fractions

comprend 25 classes du groupe programmation et 13 du groupe contrôle, soit 644 élèves (annexe 30).

2. Analyses descriptives et corrélationnelles

Les données descriptives ont indiqué qu'il y avait de légères différences en faveur du groupe programmation en comparaison du groupe contrôle au test d'entrée, et aux prétests de chacune des trois notions analysées. Des tests de Student sur les données non standardisées ont éclairé ces différences.

Un test de Student a révélé que le niveau du prétest de la division euclidienne était statistiquement plus élevé dans le groupe de programmation ($t=2,58$; $p=0,01$; $d=0,12$). Cette faible différence ne se retrouve pas au post-test de cette même notion ($t=1,59$; $p=0,11$; $d=0,07$), voir figure 14.

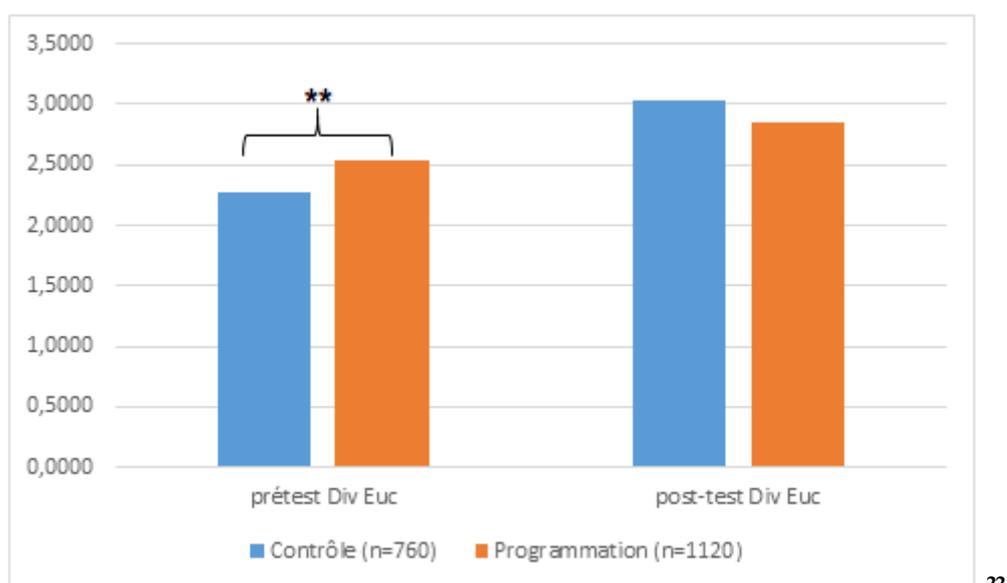


Figure 14. Prétest et post-test pour la division euclidienne pour le groupe contrôle (n=760) et le groupe programmation (n=1120).

Les tests de Student concernant les tests de la décomposition additive ont montré que le niveau au pré-test des deux groupes n'était pas statistiquement différent ($t=1,416$; $p=0,16$) mais le devenait au post-test à la faveur du groupe contrôle ($t=2,84$; $p=0,005$, $d=0,19$), voir figure 15.

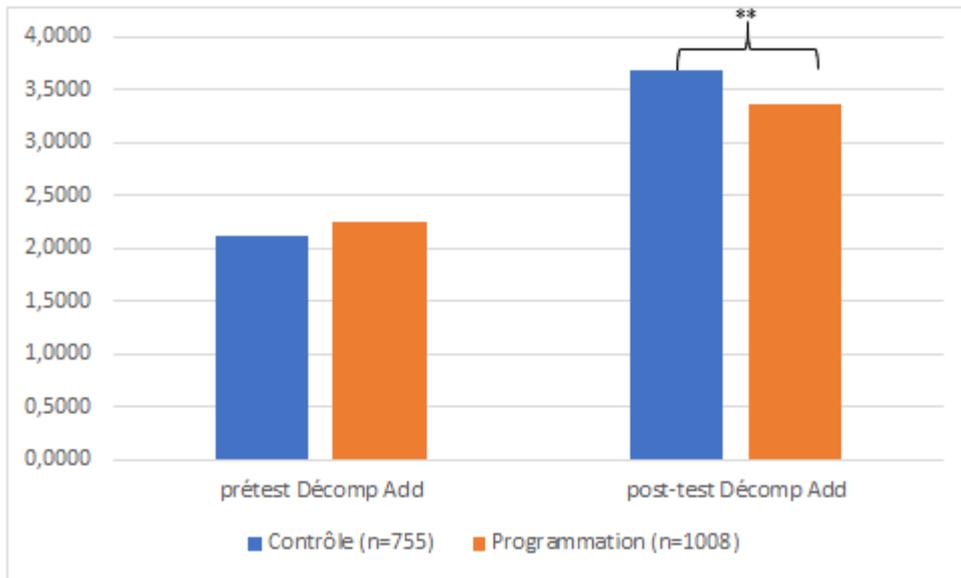


Figure 15. Prétest et post-test pour la décomposition additive pour le groupe contrôle (n=755) et le groupe programmation (n=1008).

Les tests de Student ont montré que les niveaux de pré-tests de la séquence des fractions n'étaient pas statistiquement différents ($t=0,82$; $p=0,41$) mais le devenaient au post-test ($t=2,98$; $p=0,003$; $d=0,24$) à la faveur du groupe contrôle, voir figure 16.

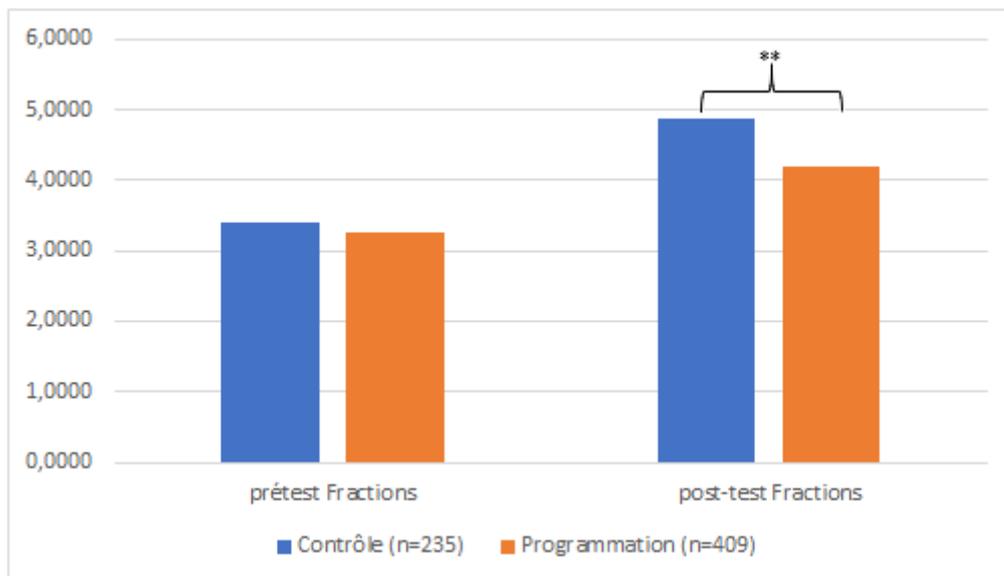


Figure 16. Prétest et post-test pour les fractions pour le groupe contrôle (n=235) et le groupe programmation (n=409).

Les statistiques descriptives des variables impliquées dans les modèles sont présentées dans le tableau 8 pour la division euclidienne, le tableau 9 pour la décomposition additive et le tableau 10 pour les fractions.

Tableau 10. Statistiques descriptives pour la division euclidienne.

Variable	Total (<i>n é</i> =1880) (<i>n c</i> =91)	Programmation (<i>n é</i> =1,120) (<i>n c</i> =56)	Contrôle (<i>n é</i> =760) (<i>n c</i> =35)	Tous ^a	Tous ^a
	M(ET)	M(ET)	M(ET)	Min	Max
1. Test général d'entrée(T1)	0,00(1,00)	0,02(,99)	-0,03(1,01)	-4,32	1,19
2.Prétest (T2)	0,00(1,00)	0,05(1,03)	-0,07(,95)	-1,12	2,10
3.Post-test (T3)	0,00(1,00)	-0,03(1,00)	0,04(1,00)	-1,29	1,79
4.CM2	0,52(,50)	0,54(,50)	0,48(,50)	0	1
5.Position scolaire	0,02(,28)	0,01(,29)	0,04(,27)	-1,00	1,00
6.Fille	0,51(,50)	0,51(,50)	0,51(,50)	0	1
7.Moyenne classe test entrée(T1)	0,00(1,00)	0,05(,93)	-0,07(1,10)	-2,77	1,73
8.Moyenne classe prétest(T2)	0,00(1,00)	0,09(1,06)	-0,13(,88)	-1,69	3,39
9.Ecart-type test entrée(T1)	2,68(,69)	2,72(,73)	2,63(,63)	1,04	4,84
10.Ecart-type prétest (T2)	1,86(,45)	1,91(,40)	1,80(,51)	0,68	2,81
11.Zone éducation prioritaire	0,29(,45)	0,27(,45)	0,32(,47)	0	1
12.Enseignant femme	0,89(0,32)	0,87(0,33)	0,90(,30)	0	1
13.Ancienneté	17,47(8,17)	17,23(8,24)	17,81(8,06)	1	35
14.Plus haut niveau études	3,80(1,21)	3,65(1,23)	4,02(1,14)	0	8
15.Formation scientifique	0,65(,48)	0,65(,48)	0,66(,48)	0	1

^a Mêmes valeurs Min et Max pour les deux groupes.
n é correspond au nombre d'élèves, *n c* correspond au nombre de classes.

Tableau 11. Statistiques descriptives pour la décomposition additive.

Variables	Total (<i>n é</i> =1763) (<i>n c</i> = 84)	Programmation (<i>n é</i> =1008) (<i>n c</i> =49)	Contrôle (<i>n é</i> =755) (<i>n c</i> =35)	Tous ^a	Tous ^a
	M(SD)	M(SD)	M(SD)	Min	Max
1.Test général d'entrée(T1)	0,00(1,00)	0,02(0,99)	-0,03(1,02)	-4,30	1,18
2.Prétest (T4)	0,00(1,00)	0,03(1,01)	-0,04(0,99)	-1,20	3,21
3.Post-test (T5)	0,00(1,00)	-0,06(0,99)	0,078(1,00)	-1,51	1,93
4.CM2	0,52(0,50)	0,55(0,50)	0,48(0,50)	0	1
5.Niveau de classe/âge	-0,02(0,28)	0,00(0,29)	-0,04(0,27)	-1,00	1,00
6.Fille	0,51(0,50)	0,52(0,50)	0,50(0,50)	0	1
7.Moyenne classe test entrée(T1)	0,00(1,00)	0,04(0,91)	-0,05(1,11)	-2,77	1,66
8.Moyenne classe prétest (T4)	0,00(1,00)	0,06(0,90)	-0,09(1,12)	-1,41	2,01
9.Ecart-type test entrée(T1)	2,64(0,68)	2,68(0,71)	2,60(0,63)	1,04	4,74
10.SD pretest (T4)	1,56(0,44)	1,65(0,40)	1,44(0,47)	0,80	2,35
11.Zone éducation prioritaire	0,29(0,45)	0,27(0,44)	0,31(0,46)	0	1
12.Enseignant femme	0,89(0,32)	0,88(0,33)	0,90(0,30)	0	1
13.Ancienneté	17,10(8,56)	17,32(8,43)	16,79(8,79)	2	35
14.Plus haut niveau études	3,76(1,15)	3,62(1,26)	3,96(0,95)	0	8
15.Formation scientifique	0,62(0,49)	0,63(0,48)	0,59(0,49)	0	1

^a Mêmes valeurs Min et Max pour les deux groupes.

n é correspond au nombre d'élèves, *n c* correspond au nombre de classes.

Tableau 12. Statistiques descriptives pour les fractions.

Variable	Total	Programmation	Contrôle	Tous ^a	Tous ^a
	(n=644) (n c=38)	(n=409) (n c=25)	(n=235) (n c=13)		
	M(SD)	M(SD)	M(SD)	Min	Max
1.Test général d'entrée(T1)	0,00(1,00)	0,01(,98)	-0,01(1,03)	-4,66	1,04
2.Prétest (T6)	0,00(1,00)	-0,02(1,02)	0,04(,98)	-1,38	2,78
3.Post-test (T7)	0,00(1,00)	-0,09(0,95)	0,15(1,07)	-1,56	1,97
4.Niveau de classe/âge	-0,02(0,28)	-0,01(0,29)	-0,05(0,27)	-1	1
5.Fille	0,49(,50)	0,49(,50)	0,50(,50)	0	1
6.Moyenne classe test entrée(T1)	0,00(1,00)	-0,06(1,00)	0,10(0,99)	-2,20	1,50
7.Moyenne classe prétest (T6)	0,06(0,97)	0,01(1,06)	0,15(0,80)	-2,16	2,13
8.Ecart-type test entrée(T1)	2,36(0,64)	2,39(0,68)	2,31(0,56)	1,04	3,82
9.Ecart-type prétest (T6)	2,11(,46)	2,09(,50)	2,14(,38)	0,87	3,31
10.Zone édu prio	0,18(,39)	0,17(,37)	0,22(,41)	0	1
11.Enseignant femme	0,78(,42)	0,81(,39)	0,71(,45)	0	1
12.Ancienneté	18,91(8,65)	19,29(8,11)	18,24(9,49)	1	35
13.Plus haut niveau études	3,77(1,27)	3,38(0,94)	4,46(1,47)	2	8
14.Formation scientifique	0,60(,49)	0,75(,44)	0,35(,48)	0	1

^a Mêmes valeurs Min et Max pour les deux groupes.

n é correspond au nombre d'élèves, *n c* correspond au nombre de classes.

Les corrélations entre les variables mesurant la performance aux sept moments de mesure, montrent, conformément aux attentes théoriques, des relations positives, fortes et très significatives entre elles (tableau 11). Le score du test d'entrée général est fortement lié à chacun des prétests des trois notions mathématiques ($r=0,41$ à $r=0,56$). Cette relation est légèrement plus forte avec chacun des post-tests des trois notions ($r=0,49$ à $r=0,58$). Enfin, les

corrélations entre les prétests et les post-tests de chacune des trois notions présentent une forte intensité ($r=0,58$ à $r=0,69$).

Tableau 13. Corrélations entre les variables de performances de chaque modèle.

Variables	Prétest DE (T2)	Post-test DE (T3)	Prétest DA (T4)	Post-test DA (T5)	Prétest FR (T6)	Post-test FR (T7)
1. Test d'entrée (T1)	0,56**	0,58**	0,41**	0,49**	0,49**	0,51**
N	1880	1880	1763	1763	644	644
2. Prétest DE (T2)		0,64**				
N		1880				
3. Prétest DA (T4)				0,58**		
N				1763		
4. Prétest FR (T6)						0,69**
N						644

Note 1. DE pour division euclidienne, DA pour décomposition additive, FR pour fractions.

* $p < ,05$. ** $p < ,01$. *** $p < ,001$.

3. Analyses des modèles multiniveaux

Dans tous les modèles étudiés (division euclidienne, décomposition additive ou fraction), présentés dans le tableau 12, la plus grande partie de la variance se situe entre les élèves. Ainsi, les modèles vides pour chaque notion indiquent que 81% des différences peuvent être expliquées par des différences intraclasse pour la division euclidienne, 78% pour la décomposition additive et 76% pour les fractions.

Tableau 14. Modèles multiniveaux expliquant les performances des trois notions.

Variables	Posttest (T3)		Posttest (T5)		Posttest (T7)	
	Division euclidienne		Décomposition additive		Fractions	
	MV	MP	MV	MP	MV	MP
<i>Effets fixes</i>						
Constante	-0,02 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,15 ^{ns}
Variables de niveau 1						
Test d'entrée(T1)		0,29 ^{***}		0,28 ^{***}		0,21 ^{***}
Prétest (T2)		0,44 ^{***}				
Prétest (T4)				0,46 ^{***}		
Prétest (T6)						0,53 ^{***}
CM2		0,18 ^{***}				
Position scolaire		0,20 ^{***}		0,18 ^{**}		
Variables de niveau 2						
Zone édu prio		-0,15 [*]				-0,37 ^{**}
Programmation		-0,16 [*]		-0,19 [*]		-0,21 [*]
<i>Effets aléatoires</i>						
Variance niveau 1	0,81 ^{***}	0,45 ^{***}	0,78 ^{***}	0,46 ^{***}	0,76 ^{***}	0,41 ^{***}
Variance niveau 2	0,19 ^{***}	0,05 ^{***}	0,22 ^{***}	0,12 ^{***}	0,25 ^{***}	0,05 ^{**}
-2 log V	5102,4	3982,5	4733,2	3819,4	1722,6	1312,39
	n=1880		n=1763		n=644	

Note. MV pour modèle vide, MP pour modèle parcimonieux.

* $p < ,05$. ** $p < ,01$. *** $p < ,001$.

A. Variance expliquée

Le pseudo-R² calculé à partir des modèles finaux par rapport aux modèles vides, indique pour chaque notion, la part de variance expliquée par les modèles pour chaque niveau de variance. Pour la division euclidienne, le modèle final explique 44% de la variance intraclasse et 74% de la variance inter-classe. Pour la décomposition additive, le modèle explique 41% de la variance intraclasse et 48% de la variance inter-classe. Pour les fractions, le modèle explique 48% de la variance intraclasse et 79% de la variance inter-classe. La proportion de variance intraclasse expliquée est globalement identique pour tous les modèles. En revanche, si les variances inter-classes sont assez similaires entre la division euclidienne et les fractions, elle est moins importante pour la décomposition additive.

Les variables qui n'étaient pas significatives ont été retirées des modèles. Au niveau 1, c'est le cas pour le sexe des élèves, pour les trois notions. La classe des élèves a été supprimée du modèle de décomposition additive (cette variable n'est pas pertinente pour le modèle sur les fractions qui ne concerne que les CM2). La plupart des variables de niveau 2 ont été retirées

des modèles : toutes les variables de composition de la classe (moyenne et hétérogénéité de la classe) et la plupart des variables concernant les caractéristiques des enseignants (sexe, formation scientifique, plus haut niveau d'éducation, âge et ancienneté en tant qu'enseignant).

B. Effets des variables de contrôle de niveau 1

Quelle que soit la notion étudiée, le score au prétest de la notion analysée affecte positivement et significativement la performance finale. Un écart-type supplémentaire du score au prétest de la notion analysée s'accompagne en moyenne d'une augmentation de 0,44 ET du score final pour la division euclidienne, de 0,46 ET pour la décomposition additive et de 0,53 ET pour les fractions. De même, quelle que soit la notion étudiée, le score général d'entrée affecte positivement et significativement la performance finale. Cet effet est plus faible que celui du prétest de la notion analysée (allant de 0,20 ET à 0,29 ET). La classe à laquelle appartiennent les élèves impacte significativement les acquisitions dans le modèle de la division euclidienne : les élèves de CM2 ont des scores post-test plus élevés que ceux de CM1 (0,18 ET). Enfin, les élèves qui ont redoublé perdent 0,20 ET dans le post-test de la division euclidienne et à 0,18 ET dans le post-test de la décomposition additive. La perte associée au redoublement est très significative pour la division euclidienne et la décomposition additive. Notons cependant que les analyses descriptives indiquent que plus de 97% des élèves ne sont pas en retard sur leur niveau de classe

C. Effets des variables de contrôle de niveau 2

L'appartenance à une zone d'éducation prioritaire entraîne une perte significative de 0,15 ET sur le post-test en moyenne pour la division euclidienne et une perte significative de 0,40 ET pour les fractions.

D. Effet de l'expérimentation

L'effet de la condition groupe de programmation est systématiquement significatif et négatif pour tous les modèles finaux. L'appartenance au groupe de programmation entraîne une diminution significative de la performance au post-test par rapport au groupe de contrôle de 0,16 ET pour la division euclidienne, 0,19 ET pour la décomposition additive et 0,21 ET pour les fractions, toutes choses égales par ailleurs.

Le pseudo- R^2 associé à l'introduction de cette variable pour chacun des modèles indique qu'appartenir au groupe programmation explique 10 % de la variance inter-classe du score final pour la division euclidienne, 6,3% de cette même variance pour la décomposition additive et 17% de cette même variance pour les fractions.

E. Interactions avec l'expérimentation

A partir des modèles parcimonieux, nous avons testé plusieurs interactions afin de savoir si l'effet de l'expérimentation dépendait du niveau d'une autre variable comme la zone d'éducation prioritaire, le niveau des élèves (scores aux tests de départ, niveau de classe CM1 ou CM2, la position scolaire), leur genre ou leur niveau dans les variables conatives mesurées. Des interactions ont également été testées avec les mesures enseignantes, en fonction du fait qu'ils aient suivi une formation scientifique, leur plus haut niveau d'étude ou encore le fait d'utiliser des gestes d'enseignement explicite ([annexe 31](#)). Aucune interaction avec les caractéristiques des enseignants ou de la classe n'est apparue. Concernant les interactions avec les variables élèves, aucune interaction n'était significative pour la division euclidienne. Pour la décomposition additive, trois interactions avec l'intervention étaient significatives : avec le prétest de la notion en T3 ($SD=0,09$, $p=,02$) et une avec la motivation intrinsèque en T1 ($SD=0,08$, $p=,02$) et avec la motivation contrôlée en T1 ($SD=0,10$, $p=,004$).

4. Analyse des erreurs aléatoires de niveau 2

Afin d'analyser plus finement les effets du dispositif sur la progression des élèves, nous avons analysé la progression des classes pour les différentes séquences. Pour cela nous avons extrait, pour chaque séquence, les erreurs aléatoires de leurs modèles de l'étape 2, utilisant seulement les variables de niveau 1 qui sont significatives (tableau 14). Les erreurs aléatoires de niveau 2 indiquent la distance qui sépare le groupe de niveau 2, en l'occurrence la classe, de la droite de régression linéaire du modèle. Si cette erreur vaut 0, la classe se situe exactement sur la droite, autrement dit la progression moyenne des élèves de la classe correspond exactement à la progression moyenne de l'ensemble des classes. Si cette valeur est négative, la classe a en moyenne moins progressé que l'ensemble des classes. A l'inverse, si cette valeur est positive, la classe a mieux progressé que l'ensemble des classes. Cet indicateur permet d'affecter un niveau de progression à chacune des classes.

Ces modèles ne contiennent pas de variables de niveau 2, car nous exploitons les valeurs des erreurs aléatoires de niveau 2 pour les caractériser avec des variables de niveau 2, afin de voir si certaines caractéristiques de ce niveau, expliquent les différences de réussite entre les classes.

Tableau 15. Description des erreurs aléatoires de niveau 2 des trois séquences.

	N classes	Min	Max	Moyenne	Ecart-type
Division euclidienne					
Ensemble	91	-0,46	0,61	0,00	0,20
Groupe contrôle	35	-0,24	0,61	0,07	0,20
Groupe programmation	56	-0,46	0,35	-0,04	0,20
Décomposition additive					
Ensemble	84	-0,64	0,93	0,00	0,33
Groupe contrôle	35	-0,36	0,93	0,09	0,37
Groupe programmation	49	-0,64	0,86	-0,07	0,28
Fractions					
Ensemble	38	-0,41	0,58	0,00	0,20
Groupe contrôle	13	-0,24	0,58	0,09	0,20
Groupe programmation	25	-0,41	0,19	-0,05	0,18

Pour chaque séquence, cet indicateur de niveau de progression a permis d'établir une répartition des classes en trois groupes de niveaux : « faible », « moyen » et « fort ». L'écart-type de l'erreur aléatoire a servi d'unité pour constituer ces groupes. Les classes inférieures à un écart-type en dessous de la moyenne des erreurs aléatoires ont été classées dans le groupe faible (théoriquement environ 17,5%). Celles comprises entre moins un écart-type et plus un écart-type à la moyenne de l'erreur aléatoire ont été placées dans le groupe moyen (théoriquement environ 35% des classes), et celles qui sont situées au-dessus d'un écart-type à la moyenne des erreurs aléatoires ont été placées dans le groupe fort (théoriquement environ 17,50%).

Nous avons ensuite cherché à caractériser, pour chaque séquence, les classes des trois groupes de niveaux afin de repérer les caractéristiques qui distinguent les classes d'un même groupe de progression, par séquence. Une exploration de la répartition des groupes de niveaux selon le groupe d'intervention (tableau 15) montre que, comme attendu par construction, la proportion de classes qui ont moyennement progressé est la majoritaire (de 66% à 84% selon les séquences) quel que soit le groupe d'intervention. Des différences sensibles apparaissent toutefois : ainsi, pour les fractions, 84 % des classes programmation sont dans le groupe moyen, contre seulement 69 % pour les classes contrôle, mais aucune classe programmation n'atteint le groupe fort contre 23 % des classes contrôle. A cela s'ajoute le fait qu'il y a proportionnellement 2 fois plus de classes programmation que de classes contrôle dans le groupe faible. Systématiquement, les proportions de classes par groupe s'inversent selon qu'on s'intéresse à un groupe extrême ou à un autre. La proportion de classes ayant faiblement progressé est systématiquement moins importante dans le groupe contrôle (de 6% à 8%) que dans le groupe programmation (de 12 à 21%) et la proportion des classes ayant le plus progressé concerne davantage les classes du groupe contrôle (de 23% à 26%) que les classes groupe programmation (de 0% à 9%).

Tableau 16. Pourcentage de classes par niveau de progression par groupe d'intervention.

	% de classes appartenant au groupe			
	N	Faible	Moyen	Fort
Division euclidienne				
Groupe contrôle	35	6	71	23
Groupe programmation	56	21	70	9
Décomposition additive				
Groupe contrôle	35	8	66	26
Groupe programmation	49	12	82	6
Fractions				
Groupe contrôle	13	8	69	23
Groupe programmation	25	16	84	0

Ces résultats sont cohérents avec les modèles parcimonieux des différentes séquences qui présentaient une supériorité du groupe contrôle vis-à-vis du groupe programmation comprise de +0,16 ET à + 0,21 ET sur la performance aux post-tests. Néanmoins, les modèles multiniveaux indiquent la progression moyenne d'un groupe comparativement à un autre. L'analyse de la répartition des erreurs aléatoires de niveau 2 par groupe d'intervention donne une indication plus fine de la façon dont les classes de chaque groupe se répartissent en termes de performances. Les figures 17 à 19 montrent l'écart entre les deux groupes d'intervention pour chaque séquence.

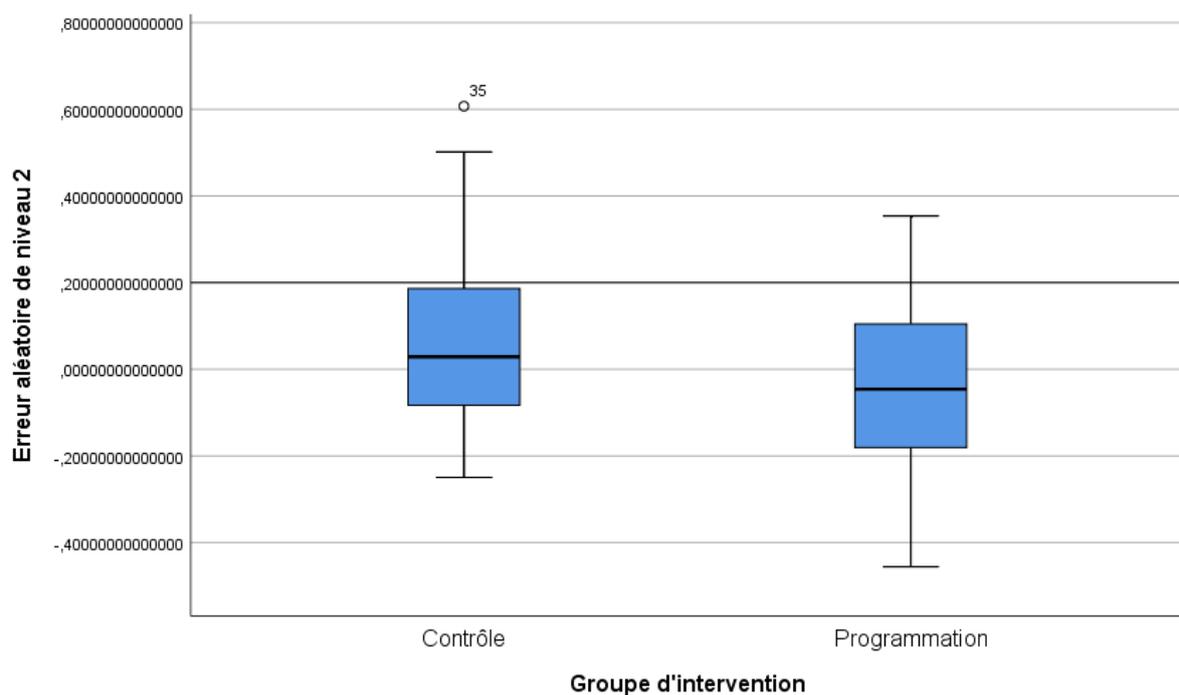


Figure 17. Diagramme en boîte à moustache des erreurs aléatoires de niveau 2 par groupe d'intervention pour la séquence division euclidienne.

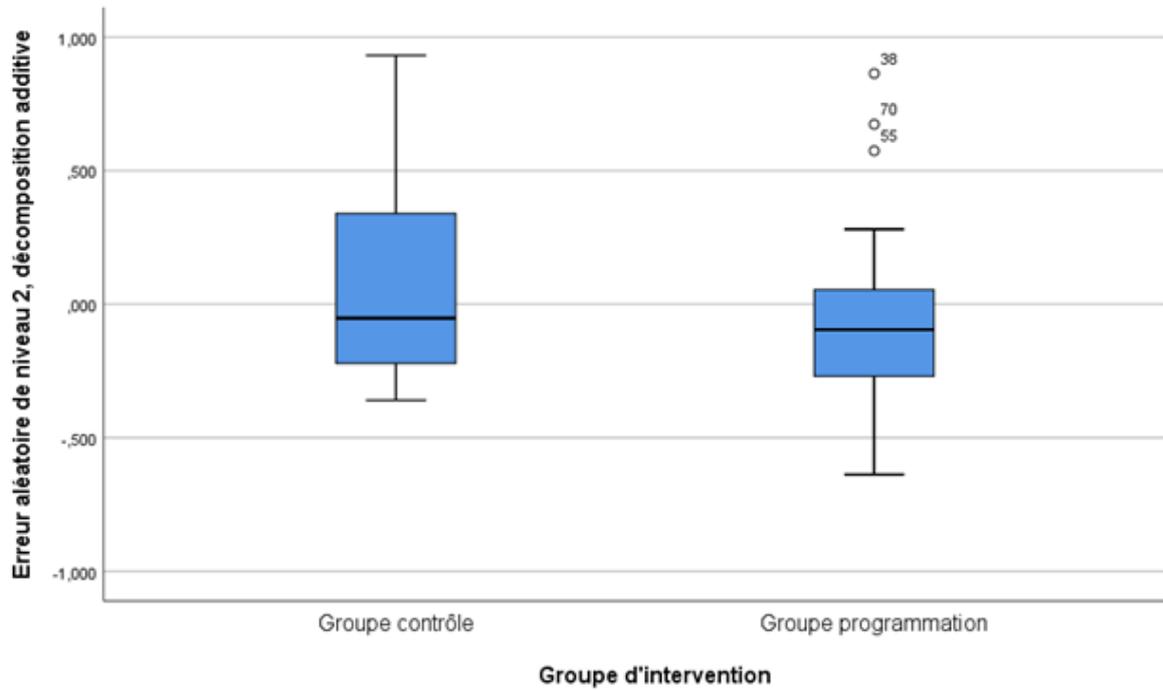


Figure 18. Diagramme en boîte à moustache des erreurs aléatoires de niveau 2 par groupe d'intervention pour la séquence décomposition additive.

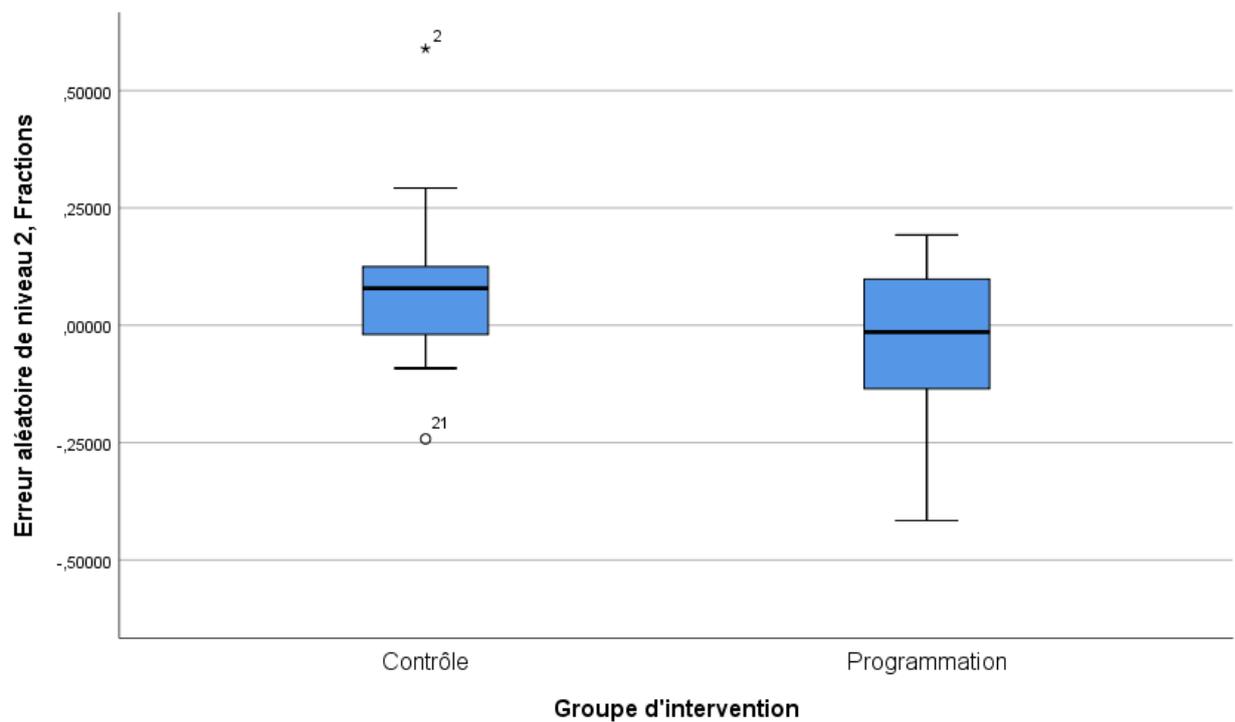


Figure 19. Diagramme en boîte à moustache des erreurs aléatoires de niveau 2 par groupe d'intervention pour la séquence des fractions.

Nous avons poursuivi notre analyse en répartissant cette fois-ci les niveaux en deux groupes : ceux qui ont plus progressé que la moyenne des classes (erreur aléatoire de niveau 2 supérieure à 0), ceux qui ont moins progressé que la moyenne des classes (erreur aléatoire de niveau 2 inférieure à 0). Nous avons affecté aux classes une variable que nous avons nommée « Niveau dichotomique » qui prenait pour valeur « 0 » si leur erreur aléatoire de niveau 2 était inférieure à 0, et 1 dans le cas contraire, puis nous avons réalisé une régression logistique pour cette variable en intégrant tour à tour les différentes variables de niveau 2 du modèle de l'étape 3 pour chacune des séquences (voir [annexe 27](#), [annexe 28](#) et [annexe 29](#) pour les modèles de l'étape 3). Aucune des variables de niveau 2 des modèles 3 des différentes séquences n'a contribué à expliquer significativement la progression moyenne des classes ($0,33 < p < 0,83$ pour la division euclidienne, $0,12 < p < 0,87$ pour la décomposition additive et $0,40 < p < 0,90$).

5. Discussion

L'objectif des modèles cognitifs était d'évaluer l'efficacité des activités de programmation avec *Scratch* sur les acquisitions en mathématiques. Trois notions ont été testées sur des élèves de CM1 et CM2 pendant 4 mois avec une méthodologie robuste. Pour un bref rappel, il s'agissait, dans le cadre de la résolution d'un problème, de programmer une expression symbolique mathématique avec *Scratch*. La traduction de ce programme en écriture symbolique mathématique pour l'appliquer à la résolution de problèmes traditionnels devait permettre d'apprendre en profondeur les notions mathématiques traitées. Notre étude a utilisé un large échantillon randomisé (ECR), des pré et post-tests pour chacune des trois notions, basés sur des mesures de performance académiques, afin de contribuer à combler le manque de résultats sur les effets de la pensée informatique sur l'apprentissage des mathématiques (Hickmott *et al.*, 2017).

Nos résultats montrent que les élèves du groupe de programmation font moins de progrès que ceux du groupe de contrôle. Les effets moyens sur les acquisitions des habiletés spécifiques finales du groupe de programmation sont de -0,16 ET (pour la première séquence portant sur la division euclidienne), -0,19 ET (pour la deuxième séquence portant sur les décompositions additives) et -0,21 ET (pour la dernière séquence portant sur les fractions). Ces effets sont nettement plus négatifs que ceux de l'étude *ScratchMath* (Boylan *et al.*, 2018), qui n'a montré aucun effet de la programmation sur l'apprentissage général des mathématiques (0,03 ET). Ces éléments montrent que, conformément à la littérature, le transfert d'apprentissages escompté

dans le cadre de l'apprentissage des mathématiques en passant par des activités de programmation n'est pas automatique.

En comparaison à l'étude *ScratchMath*, nous avons capté un effet négatif significatif, plutôt qu'un effet nul. Nous expliquons la capacité de notre dispositif à capter un effet contrairement à *ScratchMath* par des différences de conception. Dans l'étude *ScratchMath*, l'effet des séances avec *Scratch* est évalué par des mesures de performances prises à des temps éloignés de plus de deux ans des séquences de travail avec *Scratch*. L'effet calculé rapporte donc les effets des séances de travail avec *Scratch* confondus avec les effets des autres temps de classe entre les deux tests. Le dispositif *ScratchMath* proposait trois modules *Scratch* par an, ce qui indique que les séquences de mathématiques n'étaient pas toutes enseignées avec *Scratch*. Cette conception expérimentale permettait aux chercheurs de comparer l'effet de l'enseignement des mathématiques « parfois avec *Scratch* », à celui de l'enseignement des mathématiques « jamais avec *Scratch* ». Par conséquent, cette conception ne permet pas de cerner les effets des mathématiques enseignées systématiquement avec *Scratch*. Notre plan a été spécifiquement conçu pour isoler les effets des séquences enseignées systématiquement avec *Scratch*, par rapport aux séquences traditionnelles. C'est pourquoi, les pré et post-tests ont été effectués juste avant et juste après les séquences de mathématiques, qu'elles soient ou non dispensées avec *Scratch*, ce qui a permis d'estimer l'effet spécifique des séquences *Scratch* sans les confondre avec d'autres effets produits par les interventions de l'enseignant au quotidien dans sa classe en dehors de ces moments.

Par ailleurs, l'analyse des erreurs aléatoires de niveau 2 pour chacune des séquences sur les modèles (sans inclusion de variables de niveau 2) permet de cerner l'effet du dispositif par classe. A partir de cet indicateur, nous avons réparti les classes en trois groupes de niveaux : « faible », « moyen » et « fort ». Le groupe programmation comportait systématiquement une proportion plus importante de classes « faibles » comparativement au groupe contrôle. A l'inverse, le groupe contrôle contenait systématiquement une proportion plus importante de classes « fortes » comparativement au groupe programmation. La dispersion des erreurs aléatoires de niveau 2 par groupe et par séquence montre de façon assez marquée que l'écart entre les groupes d'intervention pour chaque séquence correspond à une translation vers le bas de la distribution tout entière des classes expérimentales. L'effet moyen observé pour chacune des séquences semble refléter une perte sèche pour les classes du groupe programmation, y compris les meilleures.

Nous avons ensuite catégorisé les classes en deux groupes de niveau selon la valeur de leur erreur aléatoire. Celles qui ont moins progressé que la moyenne des classes *versus* celles qui ont plus progressé que la moyenne des classes. Les analyses de régression logistique menées pour expliquer la différence entre ces deux catégories n'ont pas permis de mettre en lumière l'effet d'une variable de niveau 2 particulière, comme par exemple, les variables caractérisant l'enseignant ou le niveau moyen de la classe aux différents tests. Ainsi, aucun indicateur ne vient « rattraper » l'effet moyen de l'expérimentation, pour aucune des trois séquences.

La possibilité que les résultats de notre ECR soient dus à un biais de sélection est exclue. Les effets sont cohérents pour chacune des notions mathématiques, ce qui donne une assurance claire qu'ils ne sont pas apparus au hasard, ni ne sont limités dans leur portée. Nous pouvons également exclure que ces résultats négatifs soient dus au fait que les élèves n'étaient pas familiers de l'utilisation du logiciel de programmation visuelle *Scratch*, car les effets de notre étude ont tendance à augmenter légèrement avec le temps. Ce faisant, ils augmentent concomitamment avec une plus grande familiarité de l'utilisation de *Scratch* par les élèves. De fait, les effets vont de -0,16 ET pour la première notion enseignée à -0,22 ET pour la dernière, bien que, dans ce dernier cas, nous nous soyons limités aux élèves de CM2. Cette congruence donne une bonne assurance que les résultats présents ont une validité générale, au moins pour l'acquisition des mathématiques en CM1 et CM2 pour le principe que nous avons mis en œuvre. Enfin, aucune des caractéristiques des enseignants (sexe, niveau d'études le plus élevé, âge ou ancienneté) ou des classes (variables de composition) n'a interagi avec l'effet. Néanmoins, de très faibles interactions avec les caractéristiques des élèves (niveau de départ, motivation intrinsèque et contrôlée) ont joué sur les performances de la première séquence, puis n'ont pas été retrouvées. Ceci indique que l'effet trouvé s'applique globalement à tous les élèves quel que soit le contexte.

L'utilisation de la pensée informatique est pourtant particulièrement pertinente dans le domaine des mathématiques car la conversion d'un registre (programmation) à un autre (de l'écriture symbolique mathématique) est censée favoriser la compréhension profonde des notions mathématiques (Duval, 2006). Cependant, la conversion entre les deux registres ne s'est pas produite de la manière attendue, malgré le fait que les enseignants aient reçu la consigne de se montrer le plus explicite possible sur les correspondances et similarités entre ces deux registres lors de la phase d'explication. Il est possible que cette phase n'ait pas été réalisée de façon aussi soutenue qu'attendu. Les enseignants n'ont peut-être pas saisi

l'importance de cette phase pour la réussite des élèves du groupe de programmation et cela aura affecté leur apprentissage en entravant le transfert d'apprentissage. Ainsi, nous concluons que le transfert n'a pas été favorisé comme attendu.

Il est possible que les élèves du groupe de programmation aient dû faire face à un trop-plein d'informations liées à la compréhension de l'environnement de programmation, au détriment de l'attention à porter au concept à apprendre. Bien qu'ayant bénéficié du même temps d'enseignement des mathématiques que le groupe contrôle, les élèves du groupe de programmation ont pu avoir moins de temps pour s'engager activement dans des activités mathématiques, consacrant une partie de leur temps à la compréhension de leur nouvel environnement de travail ; or, le temps consacré à la tâche est connu pour être un fort prédicteur de réussite (Brophy, 1986). Ce prédicteur de réussite est d'autant plus puissant qu'il est associé à la réussite dans la tâche. Il est possible que les élèves du groupe programmation aient eu plus de difficulté à réussir les tâches qui leur étaient proposées en programmation, ce qui aura affecté négativement leur temps d'apprentissage académique (Fisher *et al.*, 2015). De même, il est possible que les enseignants du groupe de programmation aient réduit leurs temps d'instruction directement ciblé sur les mathématiques pour en consacrer une partie à la gestion du matériel informatique ou à l'utilisation de *Scratch*.

Il existe un consensus sur le fait que trop d'informations dépassent les limites de la mémoire de travail (Baddeley, 1992 ; Chandler & Sweller, 1991 ; Sweller *et al.*, 2019). La théorie de la charge cognitive est basée sur une conception de l'architecture cognitive selon laquelle l'apprentissage nécessite une réorganisation des connaissances impliquant la mémoire de travail. Cette mémoire est limitée et dépend de la charge cognitive impliquée dans la situation d'apprentissage. Si cette charge dépasse la capacité de la mémoire de travail, l'apprentissage est compromis.

La théorie de la charge cognitive a montré que l'apprentissage peut être entravé par le matériel pédagogique, en particulier lorsque les sources d'information se référant les unes aux autres ne sont pas intégrées, ce qui oblige l'apprenant à diviser son attention entre celles-ci pour intégrer mentalement les éléments qui doivent être compris ensemble ; imposant une charge cognitive supplémentaire connue sous le nom d'effet d'attention partagée (*split attention effect*) (Chandler & Sweller, 1991 ; Sweller *et al.*, 2019). Il est possible que la multiplicité des supports dans le groupe de programmation ait produit cet effet lorsque les élèves devaient utiliser leur ordinateur en plus des feuilles de travail pour traduire les algorithmes de leur programme en

écriture mathématique. Certains élèves ont pu être affectés par l'effet d'attention partagée et n'ont donc pas disposé de suffisamment de ressources en mémoire de travail pour mener à bien leur apprentissage.

Il est possible que la conversion de registre ait présenté un haut degré d'interactivité entre les éléments des différents registres, nécessitant à la fois que les élèves maîtrisent les éléments du registre de programmation et du registre d'écriture symbolique mathématique pour réaliser leur conversion. Cela aura pu engendrer une charge cognitive trop importante pour permettre l'apprentissage, d'autant que ces deux registres sont connus pour impliquer un haut niveau d'interactivité de leurs éléments respectifs lors de leur traitement (Berssanette & de Francisco, 2021). Les langages visuels ont probablement permis de faire baisser le taux d'interactivité des éléments, en comparaison des langages textuels, en facilitant la syntaxe et l'accès aux concepts, mais cela ne réduit peut-être pas suffisamment la charge cognitive induite pour le traitement des programmes, notamment ceux concernant les stratégies de programmation (comme l'utilisation des boucles itératives).

Enfin, on sait que la charge cognitive augmente lorsque des distractions inutiles sont imposées au système cognitif (Sweller *et al.*, 2019). Il est possible que la palette d'options disponibles *via* l'interface du logiciel de programmation visuelle *Scratch* ait distrait, voire détourné les élèves de leur tâche, comme le suggère l'étude de Mason et Cooper (2013). Certains élèves ont peut-être passé du temps sur à utiliser des options de l'interface inutiles pour réaliser les activités d'apprentissage qui leur étaient proposées. Ce faisant, ils ont pu dévier et réduire leur temps consacré à la tâche, connu pour être un fort prédicteur de réussite (Bressoux, 1994).

Chapitre III - Effets des activités de programmation en mathématiques sur la conation mathématique

1. Analyses des données

Nous avons également souhaité évaluer l'effet de l'expérimentation sur les dimensions conatives. Nos cinq variables dépendantes sont les scores centrés et réduits des trois types de régulation (intrinsèque, identifiée, contrôle) de la motivation autodéterminé en mathématiques, du sentiment de compétence en mathématiques et de l'anxiété en mathématiques recueillis en clôture du dispositif (T9). Pour la suite de ce chapitre, par souci de fluidité de lecture, nous n'indiquerons plus « en mathématiques » quand nous évoquerons ces variables, mais elles se rapporteront néanmoins à cette discipline.

Comme dans les modèles cognitifs, nous avons utilisé pour les modèles conatifs une approche multiniveau, en raison de l'imbrication des élèves dans les classes, en utilisant les logiciels IBM SPSS Statistics 25.0 et R. Les écoles ont été choisies comme unités de randomisation, mais n'ont pas été incluses comme niveau d'analyse car le niveau de l'école s'est avéré non significatif et les ICC étaient trop faibles : de 0,047 pour la motivation contrôlée, de 0,006 pour la motivation identifiée, de 0,001 pour la motivation intrinsèque, de 0 pour le sentiment de compétence et de 0,013 pour l'anxiété.

Nous avons utilisé la même procédure de spécification du modèle en quatre étapes que celle que nous avons présentée pour les modèles cognitifs. Nous en rappelons brièvement le déroulement : 1) estimation du modèle vide, 2) ajout des variables de niveau 1, 3) ajout des variables de niveau 2, 4) ajout de notre variable d'intérêt. À chaque étape, les variables non significatives ont été retirées du modèle afin d'ajuster des modèles parcimonieux expliquant la variable conative ciblée. Pour une meilleure lisibilité, nous présentons dans ce manuscrit uniquement les modèles vides et parcimonieux. Les modèles des quatre étapes sont consultables en annexes ([annexe 32](#) pour la régulation intrinsèque de la motivation

autodéterminée, [annexe 33](#) pour la régulation identifiée de la motivation autodéterminée, [annexe 34](#) pour la régulation contrôlée de la motivation autodéterminée, [annexe 35](#) pour le sentiment de compétence, [annexe 36](#) pour l'anxiété). Les variables utilisées comme variables de contrôle étant les mêmes pour les cinq modèles, nous les présentons ci-après dans une partie commune aux modèles conatifs.

A. Variables contrôles de niveau 1 (élèves)

Afin de contrôler l'effet du niveau initial des variables conatives, nous avons inclus leurs scores initiaux dans nos modèles. Nous avons contrôlé le sexe car et le score d'entrée général car ces deux variables sont liées facteurs conatifs. Nous avons ajouté au contrôle des performances, le score au prétest de la division euclidienne (premier prétest), car sa proximité avec le test d'entrée général permettait de renforcer la précision des performances dans nos analyses. Nous avons contrôlé le retard scolaire et la classe des élèves (CM1 ou CM2) car les perceptions de soi s'affinent avec le temps.

B. Variables contrôles de niveau 2 (classes)

Au niveau 2, la composition des classes a été contrôlée en utilisant à la fois les moyennes de classes au test d'entrée et au premier prétest (division euclidienne), et l'hétérogénéité des classes, mesurée par les écarts types des classes à ces mêmes tests.

L'appartenance à une zone d'éducation prioritaire a été contrôlée ainsi que des variables relatives aux caractéristiques des enseignants : sexe, âge, ancienneté dans la profession, plus haut niveau d'études après le baccalauréat, formation scientifique, le fait d'être à l'aise en mathématiques et le fait d'utiliser l'informatique quotidiennement dans ses pratiques.

C. Description de l'échantillon

Le pourcentage de données manquantes était de 29,61% et variait pour les variables incluses dans les analyses des modèles conatifs de 0,08% à 18,04% ([annexe 37](#)). L'échantillon complet utilisé pour les modèles conatifs est constitué de 1740 élèves, 818 élèves de CM1 (431 filles) et 922 de CM2 (466 filles) issus de 88 classes, 55 classes du groupe programmation et 33 du groupe contrôle. Les écoles ont été réparties aléatoirement selon les conditions : « programmation » ($n=1050$) et « papier-crayon » ($n=690$).

D. Analyse descriptives et corrélationnelles

Les tests de Student ont montré que les niveaux de **motivation contrôlée** en mathématiques étaient statistiquement différents entre les deux groupes, à la faveur du groupe contrôle en T1 ($t=2,04$; $p=0,42$; $d=0,10$), mais cette différence est faible. Cette différence demeure en T9, mais s'inverse, car elle joue cette fois-ci en faveur du groupe programmation ($t=2,33$; $p=0,02$; $d=0,10$). Néanmoins, cette différence reste faible (figure 20). Les tests de Student révèlent par ailleurs un niveau significativement plus faible en T9 pour la motivation contrôlée pour les deux groupes ($t=6,84$; $p<0,001$; $d=0,20$ groupe contrôle et $t=9,78$; $p<0,001$; $d=0,21$ groupe programmation).

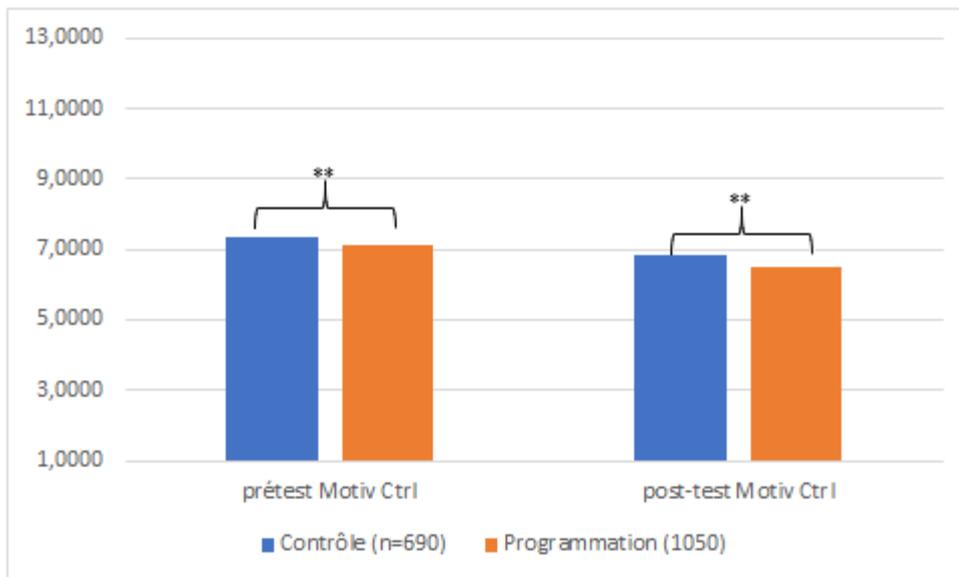


Figure 20. Prétest et post-test pour la motivation contrôlée en mathématiques, pour le groupe contrôle et le groupe programmation.

Les tests de Student ont montré que les niveaux de **motivation identifiée** en mathématiques en T1 et T9 étaient statistiquement différents entre les deux groupes ($t=2,52$; $p=0,012$; $d=0,01$ en T1 et $t=2,10$; $p=0,035$; $d=0,01$ en T9). Ces différences demeurent néanmoins de très faible ampleur (figure 21). En revanche, les tests de Student n'indiquent pas de différence significative entre les mesures des deux temps ($t=0,34$; $p=0,73$ pour le groupe contrôle et $t=0,90$; $p=0,366$ groupe programmation).

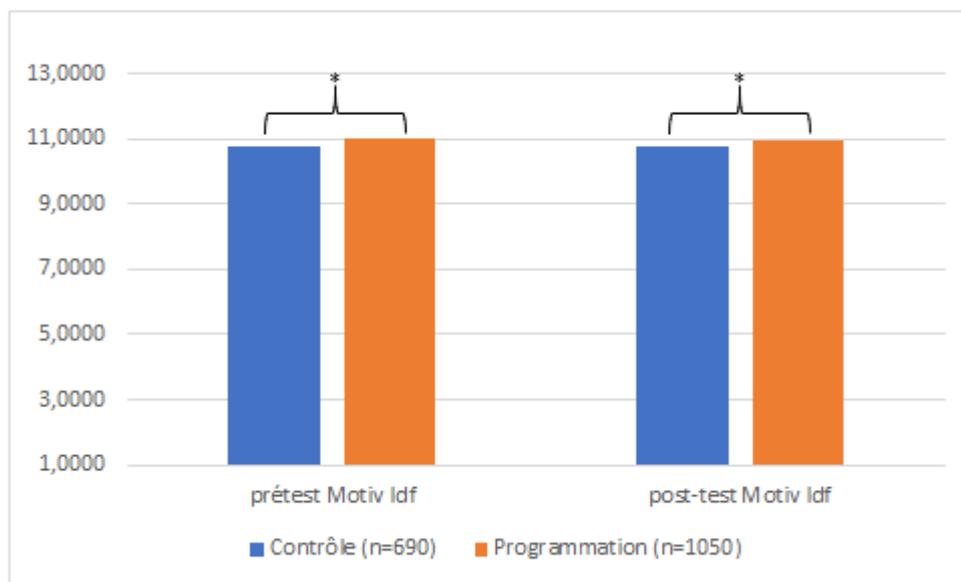


Figure 21. Prétest et post-test pour la motivation identifiée en mathématiques, pour le groupe contrôle et le groupe programmation.

Les tests de Student ont montré que les niveaux de **motivation intrinsèque** en mathématiques en T1 et T9 étaient statistiquement différents entre les deux groupes, à la faveur du groupe programmation en T1 ($t=2,69$; $p=0,007$; $d=0,13$) et T9 ($t=2,27$; $p=0,023$; $d=0,11$). Toutefois ces différences sont toutes deux de faible ampleur (figure 22). Les tests de Student indiquent un niveau de motivation intrinsèque significativement plus faible en T9 pour les deux groupes ($t=2,59$; $p=0,010$; $d=0,09$ pour le groupe contrôle et $t=4,08$; $p<0,001$; $d=0,10$ pour le groupe programmation), ici aussi, ces différences sont de faible ampleur.

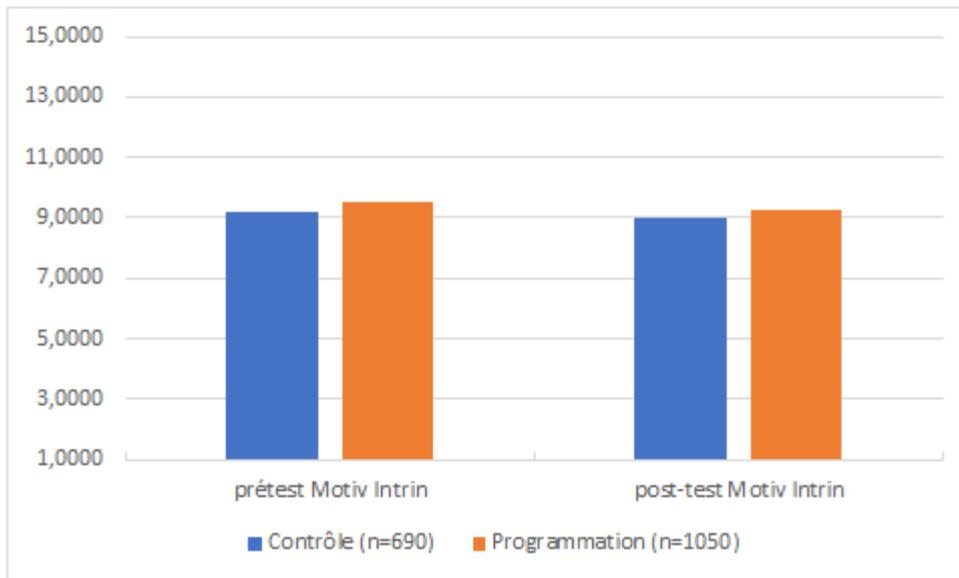


Figure 22. Prétest et post-test pour la motivation intrinsèque en mathématiques, pour le groupe contrôle (n=690) et le groupe programmation (n=1050).

Les tests de Student ont montré que les niveaux de **sentiment de compétences** en mathématiques en T1 et T9 n'étaient pas statistiquement différents entre les deux groupes ($t=0,19$; $p=0,85$ en T1 et $t=0,18$; $p=0,85$ en T9), voir figure 23. En revanche, les tests de Student révèlent un niveau significativement plus faible en T9 pour les deux groupes ($t=2,60$; $p=0,01$; $d=0,01$ pour le groupe contrôle et $t=3,94$; $p<0,001$; $d=0,009$ pour le groupe programmation). Ces différences sont d'une ampleur très faible.

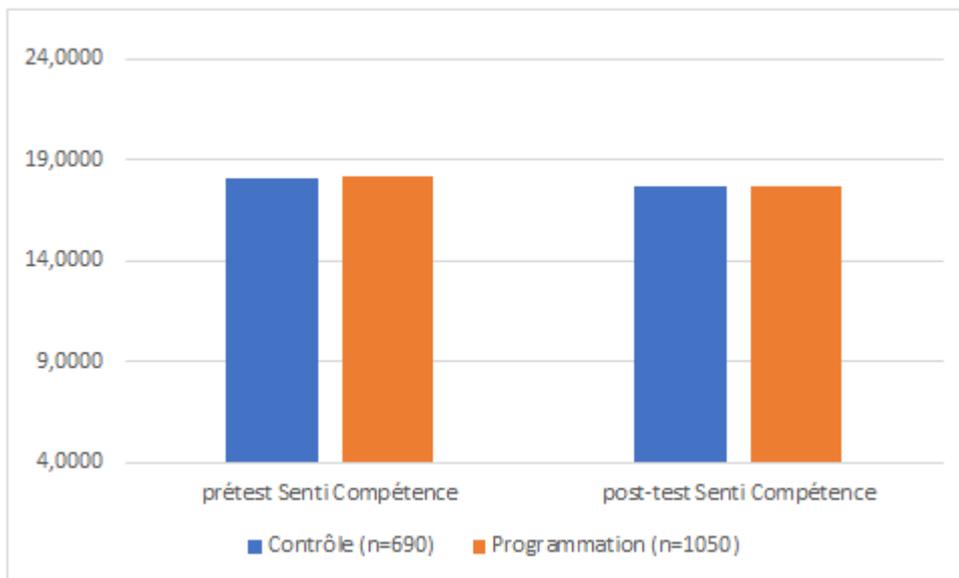


Figure 23. Prétest et post-test pour le sentiment de compétence en mathématiques, pour le groupe contrôle et le groupe programmation.

Les tests de Student ont montré que les niveaux **d'anxiété en mathématiques** en T1 et T9 n'étaient pas statistiquement différents entre les deux groupes ($t=0,99$; $p=0,32$ en T1 et $t=0,77$; $p=0,44$ en T9), voir figure 24. En revanche, les tests de Student montrent un niveau significativement plus élevé en T9 pour les deux groupes ($t=17,62$; $p<0,001$; $d=2,72$ pour le groupe contrôle et $t=24,84$; $p<0,001$; $d=2,75$ pour le groupe programmation). Cette différence est d'ampleur élevée.

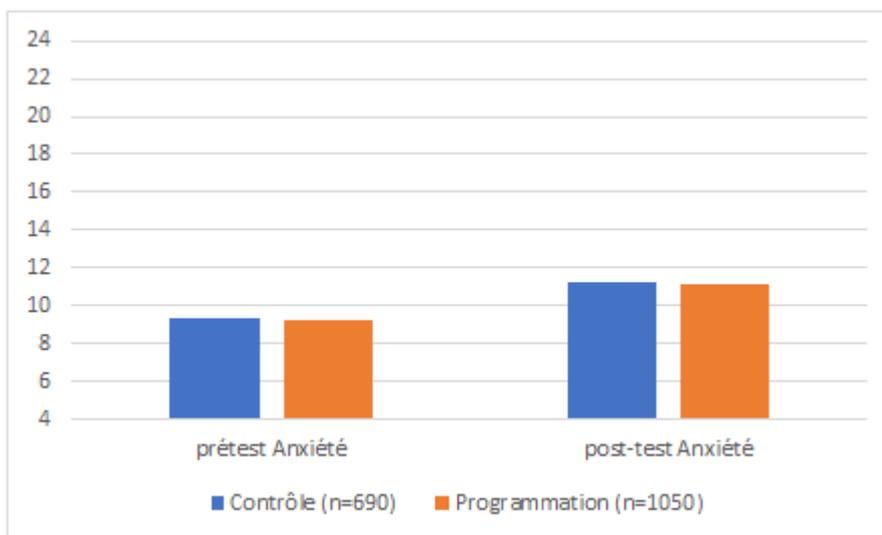


Figure 24. Prétest et post-test pour l’anxiété en mathématiques, pour le groupe contrôle et le groupe programmation.

Les statistiques descriptives des variables impliquées dans les modèles conatifs sont présentées dans le tableau 16.

Tableau 17. Statistiques descriptives pour les modèles conatifs.

Variable	Total (n=1740)	Programmation (n=1050)	Contrôle (n=690)	Tous ^a	Tous ^a
	M(ET)	M(ET)	M(ET)	Min	Max
1.Motivation Contrôlée(T1)	0,00(1,00)	-0,04(1,01)	0,06(0,98)	-2,31	2,52
2.Motivation Identifiée (T1)	0,00(1,00)	0,05(0,91)	-0,07(1,11)	-5,49	2,53
3.Motivation intrinsèque (T1)	0,00(1,00)	0,05(1,00)	-0,08(1,00)	-3,56	2,38
4.Sentiment de compétence (T1)	0,00(1,00)	0,00(1,00)	-0,01(1,00)	-2,90	1,42
5.Anxiété (T1)	0,00(1,00)	-0,02(0,98)	0,03(1,02)	-1,80	5,06
6.Fille	0,52(,50)	0,52(,50)	0,51(,50)	0	1
7.Test entrée (T1)	0,00(1,00)	0,01(1,01)	-0,02(0,99)	-4,50	1,19
8.Prétest (T2)	0,00(1,00)	0,05(1,02)	-0,07(0,96)	-1,13	2,05
9.Position scolaire	-0,02(,02)	0,00(0,28)	-0,05(0,28)	-1	1
10.CM2	0,53(,50)	0,55(,50)	0,50(,50)	0	1
11. Moyenne classe test entrée(T1)	0,00(1,00)	0,02(0,96)	-0,03(1,08)	-1,63	3,27
12. Moyenne classe prétest(T2)	0,00(1,00)	0,07(1,08)	-0,12(0,86)	-2,75	1,76
13. Ecart-type test entrée(T1)	2,65(0,71)	2,70(0,77)	2,56(0,59)	1,04	4,84
14. Ecart-type prétest (T2)	1,84(0,41)	1,85(0,37)	1,82(0,47)	0,79	2,71
15.Zone éducation prioritaire	0,30(,46)	0,27(,45)	0,33(,48)	0	1
16.Enseignant femme	0,86(,34)	0,84(,37)	0,91(,29)	0	1
17. Enseignant Age	43,64(9,30)	42,22(9,26)	45,88(9,07)	23	62
18.Ancienneté	16,66(8,4)	16,64(8,57)	16,69(8,29)	1	35
19.Plus haut niveau études	3,85(1,27)	3,66(1,33)	4,16(1,11)	0	8
20.Formation scientifique	0,63(,49)	0,63(,49)	0,63(,49)	0	1
21. Aise en maths	4,15(,88)	4,02(,95)	4,35(,71)	2	5
22.Utilise info quoti	4,30(,88)	4,39(,83)	4,17(,92)	2	5

^a Mêmes valeurs Min et Max pour les deux groupes.

Nous présentons, pour chaque variable conative mesurée en T1, les corrélations qu'elle entretient avec sa mesure à T9 ainsi qu'avec les autres variables conatives à T1 (tableau 17).

Conformément aux résultats de la littérature, les corrélations montrent des relations en constellation entre ces variables. Par exemple, la motivation autodéterminée intrinsèque en T1 est liée significativement de façon décroissante aux autres formes de régulations de la

motivation à mesure que les types de régulations considérées sont éloignées de cette régulation sur le *continuum* de la motivation autodéterminée ($r=0,46$ pour la régulation identifiée à $r=0,11$ pour la régulation contrôlée). Elle est très fortement liée au sentiment de compétence en T1 ($r=0,57$) et l'est également mais inversement à l'anxiété en T1 ($r=-0,43$). Toutes les variables conatives en T1 sont liées très significativement à leur même mesure en T2 ($r=0,35$ à $r=0,72$), la plus faible corrélation étant associée à la régulation identifiée pour la motivation autodéterminée.

Tableau 18. Corrélations entre les variables conatives.

Var	1.Motiv Int (T1)	2.Motiv Int (T9)	3.Motiv Idf (T1)	4.Motiv Idf (T9)	5.Motiv Ctrl (T1)	6.Motiv Ctrl (T9)	7.Sent Comp (T1)	8.Sent Comp (T9)	9.Anx (T1)	10.Anx (T9)
1.	1	0,61**	0,46*		0,11**		0,57**		-0,51**	-0,43**
3.			1	0,35**	0,13**	0,04 ^{ns}	0,24**	0,19**	-0,24**	-0,18**
5.					1	0,72**	0,012 ^{ns}	0,014 ^{ns}	0,06*	0,07**
7.							1	0,67**	-0,57**	-0,47**
9.									1	0,58**

N=1740

* $p < 0,05$. ** $p < 0,01$. *** $p < 0,001$.

2. Analyses des modèles multiniveaux des variables conatives

Nous présentons ici les cinq modèles conatifs ; d'abord les modèles vides (tableau 18), puis les modèles parcimonieux (tableau 19).

Tableau 19. Modèles vides expliquant les variables conatives en T9.

Variabes	Motiv Int (T9)	Motiv Idf (T9)	Motiv Ctrl (T9)	Sent comp (T9)	Anxiété (T9)
<i>Effets fixes</i>					
Constante	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}
<i>Effets aléatoires</i>					
Variance niveau 1	0,97***	0,96***	0,92***	0,98***	0,99***
Variance niveau 2	0,03**	0,04**	0,08***	0,02**	0,01 ^{ns}
-2 log V	4928,78	4927,67	4891,07	4936,65	4940,00

$n=1740$

* $p < ,05$. ** $p < ,01$. *** $p < ,001$.

Tableau 20. Modèles multiniveaux expliquant les variables conatives en T9.

Variables	Motiv Int (T9)	Motiv Idf (T9)	Motiv Ctrl (T9)	Sent comp (T9)	Anxiété (T9)
<i>Effets fixes</i>					
Constante	0,07 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,33 ^{**}	-0,21 [*]	-0,04 ^{ns}
Variables de niveau 1					
Motiv Int(T1)	0,46 ^{***}	0,16 ^{***}		0,12 ^{***}	-0,13 ^{***}
Motiv Idf(T1)	0,05 [*]	0,26 ^{***}	-0,05 ^{**}		
Motiv Ctrl(T1)		0,07 ^{**}	0,69 ^{***}	0,06 ^{***}	
Sent Comp(T1)	0,14 ^{***}			0,48 ^{***}	-0,12 ^{**}
Anxiété(T1)	-0,06 ^{**}			-0,06 ^{**}	0,40 ^{***}
Test entrée(T1)			-0,08 ^{***}	0,11 ^{***}	-0,06 ^{**}
Prétest (T2)	0,06 [*]			0,15 ^{***}	-0,10 ^{***}
Fille	-0,08 [*]		-0,07 [*]	-0,17 ^{***}	0,07 ^t
CM2	-0,16 ^{**}	-0,12 [*]			
Position scolaire			0,20 ^{**}	0,15 ^{**}	
Variables de niveau 2					
Zone édu prio	0,13 [*]				
ET test entrée (T1)				0,14 ^{***}	
ET prétest (T1)			-0,15 ^{**}		
Programmation	0,04 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,01 ^{ns}
<i>Effets aléatoires</i>					
Variance niveau 1	0,57 ^{***}	0,79 ^{***}	0,45 ^{***}	0,46 ^{***}	0,56 ^{***}
Variance niveau 2	0,24 ^{**}	0,02 [*] -0,02 ^{**} 0,03 ^{**}	0,02 ^{**}	0,02 ^{**}	0,01 ^{ns} 0,03 ^{***}
-2 log V	4066,40	4633,93	3631,74	3709,66	4067,02

n=1740

* p < ,05. ** p < ,01. *** p < ,001.

A. Variance expliquée

Les parts de variances inter-classes observées pour nos cinq modèles sont très faibles, de 3,4% à 7,8% pour les régulations de la motivation autodéterminée. L'effet-classe (effet-maître ?) joue davantage sur la motivation contrôlée, ce qui semble en accord avec la littérature. La variance inter-classe est encore plus faible pour le sentiment de compétence 2,1% et l'anxiété 1,3%.

Pour chaque modèle, le prédicteur qui a le plus de poids est le score initial de la variable expliquée. Il semblerait qu'en dehors de la motivation identifiée le score des variables conatives soit très largement déterminé par le score initial de la même variable. Cela est d'autant plus vrai pour la motivation contrôlée et le sentiment de compétence. Ainsi, le calcul du pseudo- R^2 associé à l'ajout de ces prédicteurs pour nos modèles indique que le score initial de la motivation intrinsèque explique 37,1% de la variance inter-élèves du score final de cette même régulation. Le poids de cette explication est beaucoup plus faible pour ce qui est de la motivation identifiée puisque le score initial de cette régulation explique seulement 11,5% de la variance inter-élèves de cette régulation en fin d'expérimentation, tandis que le score initial de la motivation contrôlée explique 50,3% de la variance inter-élèves de cette régulation en fin d'expérimentation. Le sentiment de compétence initial explique 46,9% de son score final tandis que l'anxiété en T1 explique 34% de l'anxiété en T9.

L'ajout des autres variables des modèles n'explique que 1,2% à 6,2% de la variance des scores finaux de la motivation intrinsèque (3,6%), identifiée (6,2%) et contrôlée (1,2%), du sentiment de compétence (5,8%) et de l'anxiété (8,8%).

Le pseudo- R^2 calculé à partir des modèles finaux par rapport aux modèles vides indique, pour chaque régulation, la part de variance expliquée par les modèles pour chaque niveau de variance. Les modèles finaux expliquent 17,8% à 52,7% de la variance intraclasse. Cette part explicative est assez proche – et élevée – pour la motivation contrôlée et le sentiment de compétence (autour de 50%), pour la motivation intrinsèque et l'anxiété (autour de 40%) et assez faible, en comparaison aux autres variables, pour la motivation identifiée (18% environ). Les modèles finaux expliquent 27% à 73% de la variance inter-classe. Rappelons cependant que la part de variance inter-classe pour chacun des modèles est très faible. Néanmoins, le modèle qui explique la plus grande part de variance inter-classe est celui de la motivation

contrôlée (73%) qui avait la plus grosse part de variance inter-classe (7,8%). On observe donc une variabilité des variances intra et inter-classes expliquées selon les variables.

Les variables qui n'étaient pas significatives ont été retirées des modèles. Au niveau 1, c'est le cas pour le sexe des élèves, uniquement pour la régulation identifiée de la motivation. Notons cependant que le fait d'être une fille apporte une légère contribution à la formation de l'anxiété mais cette contribution est tendancielle ($p=0,06$) et joue significativement et négativement sur les trois autres variables. Le test d'entrée joue négativement sur la régulation contrôlée de la motivation ainsi que l'anxiété, tandis qu'il joue positivement sur le sentiment de compétence. Le prétest sur la division euclidienne ne joue que sur le sentiment de compétence, un peu plus fortement que le score au test d'entrée, il en va de même pour son effet sur l'anxiété. Ainsi, les performances qui sont très liées aux variables conatives apportent peu d'explication à la formation des variables concernant la motivation autodéterminée dans nos modèles. Concernant la motivation, le retard scolaire ne joue que dans la formation de la régulation contrôlée, la renforçant, ce qui semble en accord avec la littérature. Il joue également significativement et négativement sur le sentiment de compétence. Le fait d'être en CM2 plutôt qu'en CM1 a un effet négatif sur les régulations intrinsèque et identifiée de la motivation autodéterminée, conformément à la littérature, et ne joue pas sur les autres variables.

Au niveau 2, le fait d'être en zone d'éducation prioritaire renforce la régulation intrinsèque de la motivation, mais ne joue sur aucune des autres variables. La dispersion des scores ne joue qu'au niveau du test d'entrée sur le sentiment de compétence, positivement, et au niveau du prétest de la division euclidienne sur la régulation contrôlée de façon négative. Ainsi, plus la classe a un niveau hétérogène, moins les élèves nourrissent une motivation contrôlée. A noter qu'aucune des caractéristiques des enseignants ne s'est révélée jouer sur nos cinq variables. Nous les avons donc toutes supprimées de nos modèles. Enfin, l'effet de l'intervention sur les variables conatives est systématiquement non significatif.

B. Effet des variables contrôle de niveau 1

Quelle que soit la variable étudiée, le score initial (en T1) affecte positivement et significativement le score final de cette même variable (en T9). Un écart-type supplémentaire du score en T1 de la variable analysée s'accompagne en moyenne d'une augmentation de 0,46 ET du score final pour la motivation intrinsèque, de 0,26 ET pour la motivation identifiée et de 0,69 ET pour la motivation contrôlée, de 0,48 ET pour le sentiment de compétence et de 0,40

ET pour l'anxiété. Il est intéressant de constater que la motivation intrinsèque contribue à la formation des scores des autres variables étudiées, à l'exception de la motivation contrôlée, en cohérence avec les résultats de la littérature. La motivation identifiée ne contribue qu'à la formation des autres types de régulation de la motivation, et de façon opposée : 0,06 ET pour la motivation intrinsèque contre -0,05 ET pour la motivation contrôlée. La motivation contrôlée contribue très faiblement (entre 0,05 ET et 0,07 ET) à la formation des autres variables, n'apporte aucune explication à l'anxiété. Le sentiment de compétence contribue positivement à la formation de la motivation intrinsèque, il contribue négativement de presque autant à la formation de l'anxiété, en cohérence avec la littérature.

Être une fille réduit de 0,08 ET la formation de la régulation intrinsèque et de 0,07 ET la régulation contrôlée alors que cela ne joue pas sur la formation de la régulation identifiée. Être en CM2 réduit les deux types de motivations dites autonomes de -0,12 à -0,16 ET. Le retard scolaire, quant à lui, contribue de façon importante à la formation de la régulation contrôlée dont on sait qu'elle bénéficie le moins aux apprentissages. Enfin l'anxiété impacte négativement de 0,06 ET la motivation intrinsèque et le sentiment de compétence. Le fait d'être fille a tendance à dégrader la motivation intrinsèque et la motivation contrôlée (respectivement -0,08 ET et -0,07 ET) mais c'est davantage sur le sentiment de compétence que l'effet est le plus important : -0,18 ET.

C. Effets des variables contrôle de niveau 2

Il est intéressant et contre-intuitif de constater que le fait d'appartenir à une zone d'éducation prioritaire entraîne une augmentation significative de la régulation intrinsèque (0,13 ET) qui est celle qui correspond à la régulation la plus autonome, et n'a pas d'effet sur les deux autres types de régulation, ni sur les autres variables. A niveau initial donné, être dans une zone d'éducation prioritaire ne s'accompagne donc pas d'une dégradation de la conation, voire la favorise quelque peu.

D. Effet de l'expérimentation

L'effet de la condition groupe de programmation est systématiquement non significatif pour chacune des variables étudiées ($0,10 < p < 0,83$), toutes choses égales par ailleurs.

E. Interaction avec l'expérimentation

Pour chaque modèle, nous avons testé l'effet d'interaction de l'intervention avec le score initial de la variable conative testée. Nous n'avons trouvé aucune interaction significative. Voici les différentes valeurs de significativité des interactions entre l'intervention et les différentes variables conatives en T1 : $p=0,23$ pour la motivation intrinsèque, $p=0,79$ pour la motivation identifiée, $p=0,16$ pour la motivation contrôlée, $p=0,17$ pour le sentiment de compétence et $p=0,81$ pour l'anxiété.

3. Discussion

Les modèles que nous avons présentés dans ce chapitre avaient pour but d'évaluer l'effet des activités de programmation avec *Scratch* dans le cadre des apprentissages mathématiques sur trois variables conatives ciblées en mathématiques : la motivation autodéterminée (à travers ses trois régulations indiquées pour les jeunes enfants), le sentiment de compétence et l'anxiété.

Différentes études nationales et internationales (Ministère de l'Éducation nationale, 2016 ; 2019) ont montré que le niveau des élèves français en mathématiques était très en-dessous de la moyenne des pays participants et que leur niveau de confiance et de motivation en mathématiques avait tendance à se dégrader au cours du temps (entre TIMSS4 de 2015 et TIMSS8 de 2019). Il est important d'évaluer l'effet des nouvelles pratiques des mathématiques, comme c'est le cas de l'utilisation de la programmation sur les variables conatives dont on sait qu'elles influencent les apprentissages (Muijs, *et al.*, 2014) et peuvent agir de manière adaptative ou délétère (Moore *et al.*, 2015).

Dans le cadre d'une démarche de recherche basée sur les données probantes, nous souhaitons vérifier que ces pratiques produisaient un effet positif sur les variables que nous étudions. Notre étude a utilisé un large échantillon randomisé, avec des mesures avant (en T1) et après intervention (en T9) pour chacune des variables conatives traitées, afin de contribuer à la compréhension des processus à l'œuvre lors de dispositifs faisant appel à la pensée informatique pour l'apprentissage des mathématiques.

Nos résultats ne montrent aucun effet de la condition programmation sur nos variables conatives relatives aux mathématiques, nous contraignant à rejeter les cinq hypothèses que nous avons formulées : $p=0,45$ pour la motivation intrinsèque, $p=0,29$ pour la motivation identifiée, $p=0,54$ pour la motivation contrôlée, $p=0,1$ pour le sentiment de compétence et

$p=0,83$ pour l'anxiété. L'homogénéité de ces résultats, qui portent sur des variables qui fonctionnent en constellations (Moore *et al.*, 2015 ; Viau, 1995), donne une bonne assurance de leur validité générale.

Ces variables conatives sont influencées par des variables contextuelles (Berger & Büchel, 2012 ; Galand, 2006 ; Turner *et al.*, 2002), or dans nos modèles, nos variables de niveau 2 ont montré très peu d'impact sur leur formation en T9. La variance inter-classe de nos modèles est très faible, le maximum de la part de cette variance étant relevée pour la motivation contrôlée à 7,8%, les autres étant comprises entre 1,4% et 3,6%. Cela signifie qu'il n'y a quasiment pas d'effet-enseignant pour ces scores, dont les pré et post mesures ont été réalisées à quatre mois d'écart (entre T1 et T9). Un dispositif davantage étalé dans le temps aurait peut-être révélé des effets sur ces variables, connues pour être relativement stables dans le temps. De plus, aucune des caractéristiques des enseignants que nous avons testées n'a montré d'effet : ni le sexe de l'enseignant, son âge, son ancienneté dans la profession, son niveau d'études, le fait que sa formation soit scientifique, qu'il soit à l'aise en mathématiques ou qu'il utilise l'informatique quotidiennement dans ses pratiques n'ont exercé de quelconque effet.

Seulement trois variables de niveau 2 ont montré des effets, et de façon éparse, sur un seul modèle à chaque fois. C'est le cas de la zone d'éducation prioritaire qui influence la régulation intrinsèque de la motivation. C'est également le cas de la dispersion des notes (écart-type du score d'entrée en T1) qui a joué positivement sur le sentiment de compétence. Ce résultat est en accord avec le « *big fish little pond effect* » (Marsh *et al.*, 2007) qui indique qu'il est plus facile de se sentir compétent dans une classe hétérogène. La régulation contrôlée est elle aussi influencée par la dispersion des scores (écart-type du prétest de la division euclidienne en T2), mais de façon négative. Cela peut signifier que lorsque la classe est hétérogène, les élèves ressentent moins de pression à devoir réussir alors que lorsque le niveau est homogène, la pression est plus forte à ne pas être un des rares à sortir du lot.

La plupart des études qui s'intéressent aux effets de la programmation sur la motivation (plus nombreuses), l'anxiété ou le sentiment de compétences (plus rares), portent sur l'effet que produit la programmation sur la motivation, l'anxiété et le sentiment de compétences, en programmation. Nous nous sommes quant à nous intéressés à l'effet que produit la programmation sur ces construits non pas relativement à la programmation, mais relativement aux mathématiques. Cela nous semblait pertinent car la programmation est souvent intégrée aux enseignements mathématiques à l'école primaire, depuis la rentrée 2016 (Bulletin officiel

spécial n°11 du 26 novembre 2015). En cela, notre étude apporte des résultats originaux aux questions que l'on doit se poser concernant les effets que produit la programmation sur la discipline qu'elle accueille.

De nombreuses études évoquent l'effet de la programmation sur la motivation. Les arguments en faveur d'une motivation accrue par l'usage des langages de programmation s'appuient sur le constat du plaisir qu'ont les enfants à utiliser ces logiciels, ce qui favoriserait les apprentissages. Cependant, le plaisir à utiliser une technologie ne correspond pas systématiquement au plaisir de réaliser la tâche. C'est le plaisir à réaliser la tâche qui entretient la motivation intrinsèque et favorise les apprentissages. Le plaisir doit donc être centré sur l'apprentissage et non lié exclusivement à l'utilisation de l'outil informatique (Tricot, 2020 ; Viau, 2009). Des éléments de notre recherche viennent étayer cet argument. Ainsi, les réponses aux questionnaires passés auprès des enseignants en fin d'expérimentation (T9) pour recueillir leurs perceptions quant à la motivation de leurs élèves indiquent que les enseignants ont perçu une motivation plus forte chez leurs élèves dans la condition programmation. Les enseignants donnaient leur degré d'accord sur une échelle de Likert en 5 points à la question : « les élèves ont été motivés ». Cette question « naïve » a pour intérêt de souligner que les perceptions des enseignants à propos de leurs élèves doivent être considérées avec prudence, car s'ils ont perçu un accroissement de la motivation chez leurs élèves, or cela ne se retrouve pas dans les analyses des modèles portant sur la motivation autodéterminée que nous avons présentées ici. Nos conclusions confirment les propos de Tricot (2020), Scherer (2016) et Livingstone (2012) qui indiquent que le plaisir des enfants n'est pas une preuve de motivation à réaliser la tâche. C'est le paradoxe préférence/performance (Tricot, 2020).

Retenons deux points importants de nos résultats relativement à la motivation. D'abord l'absence de correspondance entre la motivation autodéterminée des élèves et celle évaluée « naïvement » par les enseignants met en lumière, s'il était besoin, la nécessité d'exploiter des outils fiables pour le recueil des données latentes. Ensuite, les outils appropriés de mesure de la motivation indiquent qu'il est nécessaire de remettre en question le caractère systématiquement motivant de l'introduction des technologies en classe, que nous n'observons pas auprès de nos participants.

Si notre étude n'a montré aucun effet du dispositif sur nos variables conatives, elle a cependant confirmé que les filles sont tendanciellement plus anxieuses que les garçons et nourrissent des motivations contrôlée et intrinsèque légèrement mais significativement plus

faibles que les garçons. Mais surtout, elles développent un sentiment de compétence en mathématiques significativement plus faible que les garçons.

Bien que le groupe programmation n'ait produit d'effet significativement différent du groupe contrôle sur aucune des variables conatives, celles-ci ont cependant presque toutes évolué, à l'exception de la motivation identifiée, au cours de l'intervention, toujours dans le même sens dans les deux groupes. La motivation contrôlée et la motivation intrinsèque ont significativement baissé. Le sentiment de compétence a significativement baissé dans les deux groupes tandis que l'anxiété a significativement augmenté dans les deux groupes ; c'est la variable qui a le plus évolué au cours du dispositif.

Enfin, pour chacune des variables conatives, nous avons testé des effets d'interaction entre le score de départ de la variable et l'intervention. Nous cherchions ici à déterminer si l'effet de l'intervention est différent selon le niveau de motivation intrinsèque ou d'anxiété en mathématiques initiales par exemple. Aucune de nos analyses n'a indiqué la présence de ce type d'interaction, aucun des coefficients liés aux interactions ayant été significatif ($0,16 < p < 0,81$). Ceci indique que l'effet de l'intervention ne dépend pas du niveau initial de motivation autodéterminée en mathématiques (quels que soient les types de régulation), du niveau de sentiment de compétence en mathématiques ou du niveau d'anxiété en mathématiques.

Chapitre IV – Éléments d'éclairage liés à l'implantation du dispositif

Nous ne disposons pas de mesures d'implantation en tant que telles. Nous apportons cependant dans cette section des éléments qui s'y rapportent et peuvent éclairer l'interprétation des résultats. Ces éléments concernent l'adhésion des enseignants au dispositif, leurs avis sur la formation qu'ils ont reçue en début d'intervention mais également leur avis concernant le dispositif en général, suite à l'intervention. Nous développerons également plusieurs points concernant le design du dispositif qui permettent de considérer dans quelle mesure celui-ci favorisait le cadrage des pratiques des enseignants sur les temps de l'intervention. Ces éléments sont détaillés dans les sections suivantes, à partir des données de l'échantillon global des 107 classes.

1. Éléments relatifs aux enseignants

Une partie des éléments présentés ci-après repose sur l'analyse des questionnaires soumis aux enseignants, juste après leur formation Expire, en T1, et en fin d'intervention, en T9³⁶. Nous détaillerons à chaque fois le taux de participation des enseignants à ces différentes questions en le rapportant à l'échantillon de départ mais aussi en le rapportant aux enseignants qui ont pleinement participé au dispositif. Par exemple, certaines questions sont relatives à la mise en œuvre de séquences particulière, dans ce cas il peut être intéressant de connaître la proportion d'enseignants qui ont renvoyé tous les scores pour être traités pour cette séquences, qui ont répondu. Nous pensons que ces deux informations sont utiles pour comprendre la portée des résultats des analyses des questionnaires ([annexe 38](#)).

³⁶ Pour les informations concernant la passation de ces questionnaires, se référer à la section « procédure » du chapitre « Méthodologie » de la partie expérimentale.

A. Participation des enseignants au dispositif

Les enseignants qui ont participé à notre dispositif, en 2017-2018 étaient volontaires pour mettre en œuvre les séquences du dispositif dans leurs classes. Ils ont *a priori* choisi de suivre ce dispositif auquel ils ont adhéré.

En outre, l'année scolaire suivant l'expérimentation, en 2018-2019, il a été proposé aux enseignants des deux groupes de bénéficier à nouveau des séquences de travail *Scratch* (sans les pré et post tests cette fois-ci). Plus de 40% des enseignants de l'année expérimentale (2017-2018) ont souhaité renouveler leur participation. A cette occasion, les enseignants avec lesquels nous avons eu l'occasion d'échanger nous ont indiqué que le dispositif « seul » (sans questionnaires et tests de performances) leur semblait beaucoup moins lourd à organiser comparativement à l'année précédente, avec ses suppléments nécessaires pour la récolte des données.

Le taux important de renouvellement de d'adhésion au dispositif semble indiquer que le projet a été globalement accepté et suivi. Cela semble d'autant plus vrai que 59% des enseignants qui n'ont pas souhaité réitérer leur participation ont indiqué, dans un questionnaire anonyme, qu'ils se retiraient car ils n'étaient plus concernés par le projet. Plus précisément, les raisons invoquées pouvaient être qu'ils n'enseigneraient plus à des élèves de CM1 ou CM2 en 2018-2019, ou qu'ils quittaient leur école, par exemple.

B. Perception de qualité de la formation en T1

Les enseignants des deux groupes ont reçu, en amont de l'intervention, trois heures de formation qui devaient les aider à mettre en œuvre le dispositif selon leur groupe d'affectation. Lors de ces temps de regroupements, nous nous sommes assurés qu'ils avaient bien assimilé les principes de conduite du travail en classe pour leur groupe. En complément, nous avons consacré une partie du questionnaire enseignants en T1 (voir [annexe 14](#)) à l'évaluation de la qualité de cette formation auprès des deux groupes d'enseignants.

Sur les 107 enseignants présents au départ, entre 95 et 97 enseignants ont répondu les trois premières questions (qui concernaient tous les enseignants), soit 89,71 % des enseignants de la liste de départ pour. Cela représente 88% de réponses pour les enseignants du groupe programmation et 92% de réponses des enseignants du groupe contrôle.

La question sur les fractions a recueilli moins de réponses car elle portait sur les fractions qui ne concernaient que les élèves du CM2, cependant tous les enseignants ont eu la formation. De fait, nous avons plus de réponses (91 enseignants) que d'enseignants qui avaient en charge des CM2 (68 enseignants), en croisant ces données, nous constatons que 100% des enseignants qui avaient des CM2 ont répondu à cette question.

La dernière question ne concernait que le groupe programmation, 65 enseignants y ont répondu dont six qui se sont trompés car ils ne faisaient pas partie du groupe concerné (leurs réponses ont été retirées des analyses).

Une partie des enseignants n'a pas répondu aux questions ce qui induit une perte de précision dans les résultats présentés. En outre, les enseignants du groupe contrôle ont proportionnellement davantage répondu que les enseignants du groupe programmation ce qui accorde plus de poids à leurs réponses. Pour autant, compte tenu des forts taux de participation, nous pouvons considérer que les biais ont un faible impact sur les résultats. Nous présentons ci-après la répartition des réponses aux différentes questions évaluant la qualité de la formation, en pourcentages, selon les groupes (figures 25 à 29).

Les éléments présentés dans ces figures indiquent de légères différences entre les groupes, néanmoins les tests Khi-deux révèlent qu'aucune de ces différences ne sont significatives ([Annexe 39](#)). Notons que les effectifs théoriques pour les réponses « pas du tout d'accord » et « pas d'accord » étaient souvent insuffisants pour autoriser un traitement statistique Khi-deux. Néanmoins ces deux catégories de réponses pointaient une mauvaise qualité de la formation : le fait que leurs effectifs soient trop faibles pour être traités indique que la formation a globalement été perçue comme étant de bonne qualité par les enseignants des deux groupes.

En moyenne, un peu plus de 91% des enseignants répondants ont considéré maîtriser les principes didactiques nécessaires pour réaliser les séquences du dispositif (somme des scores de « plutôt d'accord » à « tout à fait d'accord »). De la même façon, en moyenne plus de 89% des enseignants répondants sont sortis de la formation avec le sentiment de suffisamment maîtriser les quatre séquences du dispositif. Un examen plus précis montre quelques différences entre les groupes avec notamment 16% (des enseignants répondants) qui pensaient ne pas suffisamment maîtriser la séquence des fractions dans le groupe programmation contre 8% (des enseignants répondants) du groupe contrôle. On observe la tendance inverse pour la séquence sur les décompositions additives où 7% des enseignants répondants du groupe

programmation ne se sentaient pas suffisamment prêts, contre 11% des enseignants répondants du groupe contrôle.

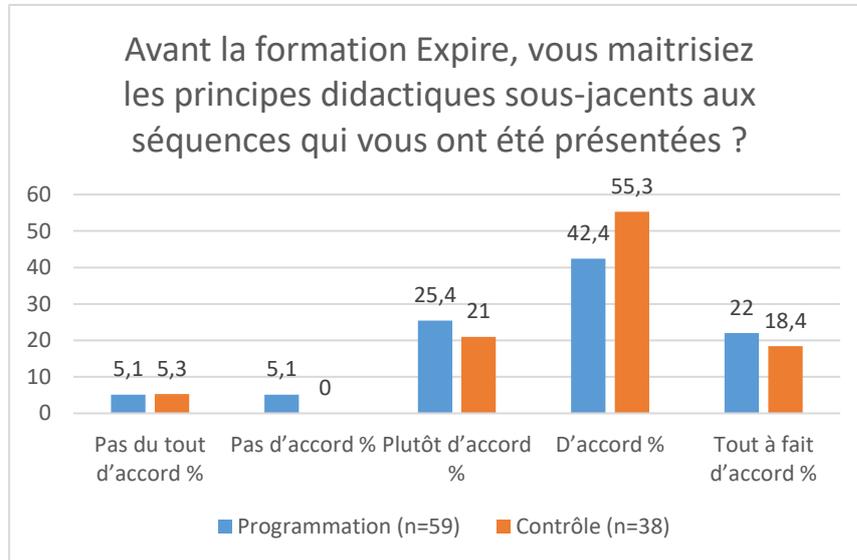


Figure 25. Pourcentage des réponses sur la maîtrise des principes didactiques en T1.

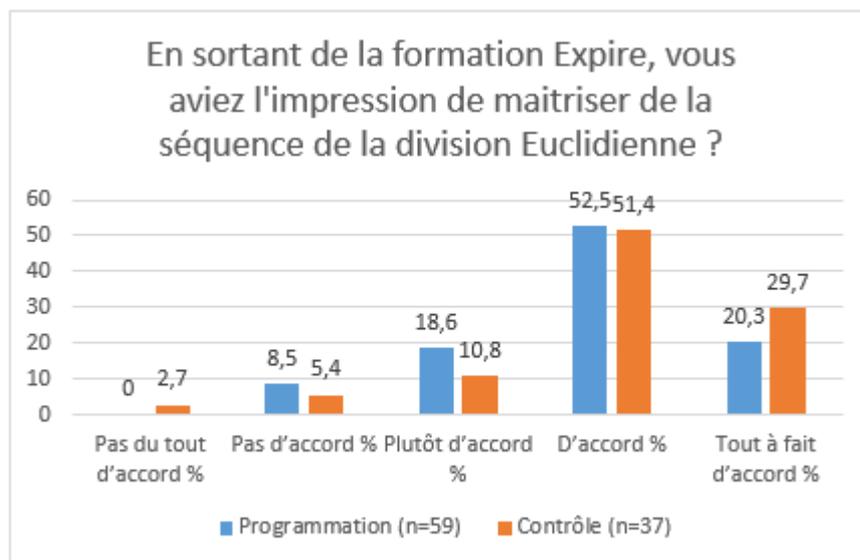


Figure 26. Pourcentage des réponses sur la maîtrise de la séquence division euclidienne.

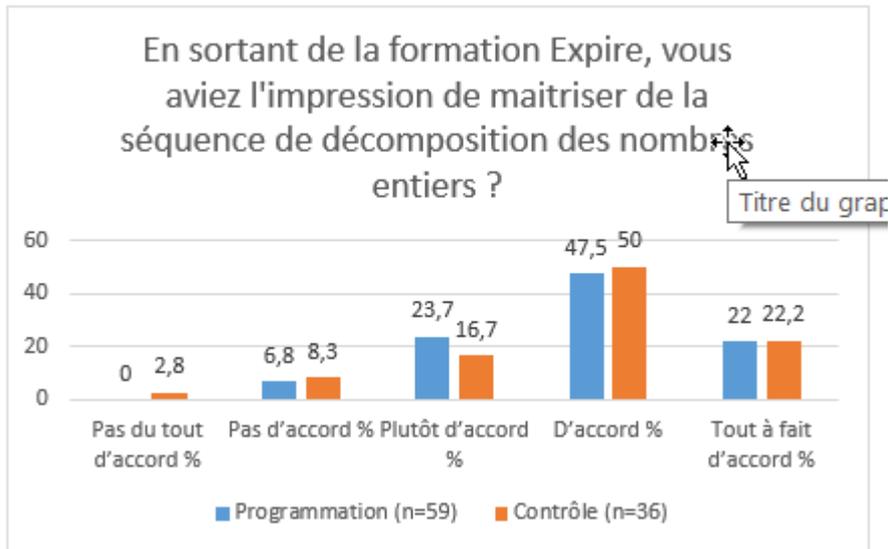


Figure 27. Pourcentage des réponses sur la maîtrise de la séquence décomposition additive.

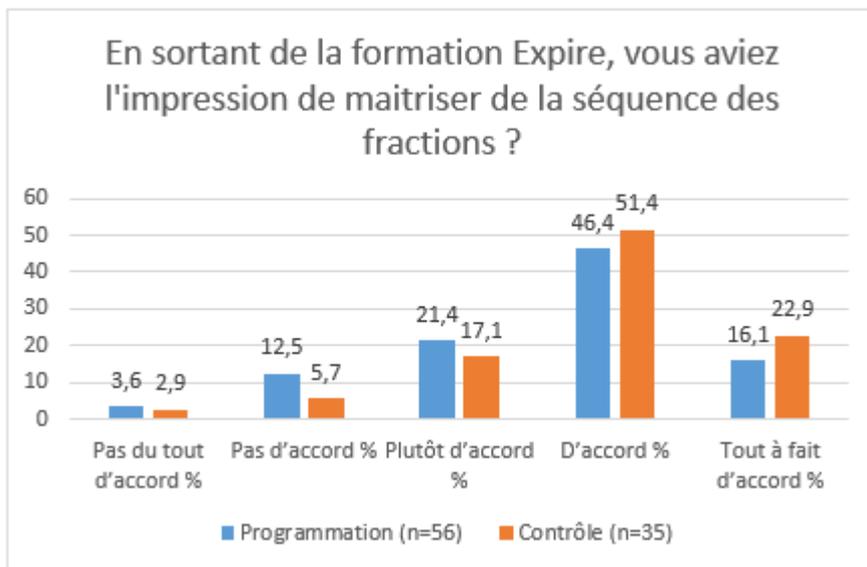


Figure 28. Pourcentage des réponses sur la maîtrise de la séquence fractions.

Enfin, concernant la question propre à l'utilisation de *Scratch*, à laquelle seuls les enseignants du groupe de programmation devaient répondre, plus de 79% des enseignants répondants avaient l'impression de suffisamment maîtriser *Scratch* pour réaliser les séquences. C'est la question à laquelle les enseignants ont le plus répondu (88%) comparativement aux autres questions (de 69 à 70%). Ces chiffres tendent à montrer que globalement les enseignants

se sentaient suffisamment prêts pour mettre en œuvre les séquences du dispositif, quel que soit le groupe.

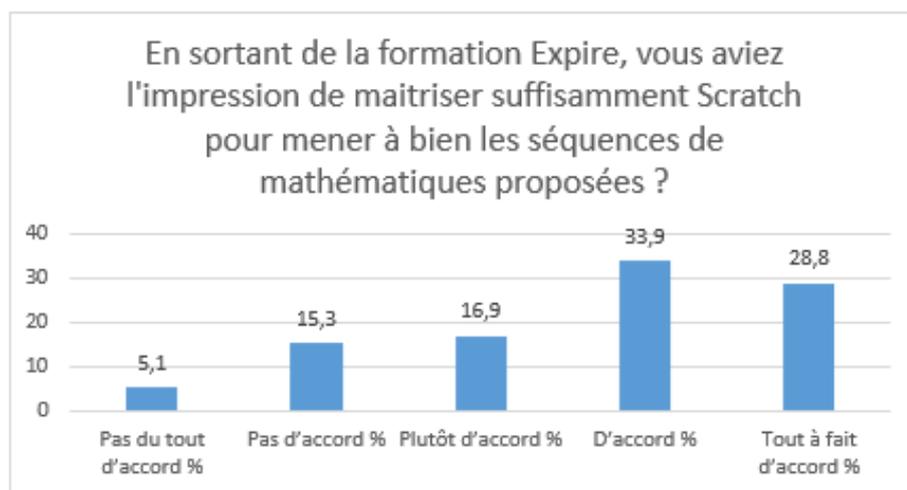


Figure 29. Pourcentage des réponses sur la maîtrise de Scratch (groupe programmation uniquement, n=59).

C. Evaluation du dispositif en T9

Les questionnaires en T9 interrogent le ressenti des enseignants quant à la mise en œuvre des séquences dans leurs classes. Sur les 107 enseignants présents au départ, ils étaient 78 à y répondre en T9 soit un taux de réponse de 73%. Ils étaient 54 du groupe programmation (81% des enseignants de ce groupe) et 24 du groupe contrôle (60 % des enseignants de ce groupe) pour les questions sur les séquences division euclidienne et décomposition additive. Pour les questions concernant les fractions, ils étaient 41 enseignants à répondre (61%) dont 29 du groupe programmation (64% des enseignants de ce groupe) et 12 du groupe contrôle (48% des enseignants de ce groupe).

Une partie des enseignants n'a pas répondu aux questions ce qui induit une perte de précision dans les résultats présentés. A l'inverse du questionnaire en T1, ce sont cette fois-ci les enseignants du groupe programmation qui ont proportionnellement davantage répondu que les enseignants du groupe contrôle, ce qui accorde plus de poids aux réponses des enseignants du groupe programmation.

Qualité des séquences

Un premier lot de questions concerne la qualité perçue des séquences, en comparaison à celles menées habituellement (en dehors du dispositif), en mathématiques (tableau 21 et 22). Pour ces questions, si l'on s'intéresse aux enseignants qui ont fourni suffisamment de données pour qu'elles soient analysées dans nos modèles sur les acquisitions, alors 85 % des enseignants ont répondu pour la division euclidienne, 77 % pour la décomposition additive. Pour la question sur la qualité des fractions, 71% des enseignants dont les résultats ont été traités pour les modèles sur les acquisitions ont répondu, mais également douze enseignants de plus, qui avaient effectivement des CM2. Ces enseignants ont dû mettre en œuvre les séquences mais ne nous ont pas fait remonter leurs données. Pour plus de fiabilité, nous tenons compte de l'ensemble des réponses. Les taux de participation à ces questions sont assez importants et nous permettent d'accorder une bonne confiance aux résultats des analyses de ces réponses.

Ces informations indiquent globalement un sentiment de qualité non dégradée des séances du dispositif par rapport aux pratiques habituelles. Néanmoins, les résultats montrent une variabilité entre les séquences et entre les groupes. Ainsi, la séquence des fractions montre une qualité perçue moindre comparativement aux séquences de la division euclidienne et de la décomposition additive, et cette qualité perçue est plus faible pour le groupe contrôle.

Tableau 21. Qualité perçue des séquences conduites

Questions issues du questionnaire enseignant en T9 : Par rapport à la conduite des séquences d'enseignement de mathématiques habituelle, vous estimez que la qualité de la conduite de l'enseignement dont ont bénéficié les élèves pour les séquences du projet Expire était globalement : (réponse codée de 1 « qualité non dégradée » à 3 « qualité vraiment dégradée »).

	M (ET)	Qualité vraiment dégradée %	Qualité dégradée %	Qualité non dégradée %	Test du Khi2	
					Val	<i>p</i>
Séquence division euclidienne						
Programmation (n=54)	1,20 (0,40)	0	20,4	79,6	1,51 ^a	0,22
Contrôle (n=24)	1,33 (0,48)	0	33,3	66,7		
Séquence décomposition additive						
Programmation (n=54)	1,19 (0,44)	1,9	14,8	83,3	0,85 ^b	0,65
Contrôle (n=24)	1,29 (0,55)	4,2	20,8	75,0		
Séquence fractions						
Programmation (n=29)	1,34 (0,61)	6,9	20,7	72,4	5,45 ^c	0,66
Contrôle (n=12)	1,83 (0,72)	16,7	50,0	33,3		

* $p < ,05$. ** $p < ,01$. *** $p < ,001$.

^a : L'effectif théorique minimum est de 5,85.

^b : L'effectif théorique minimum est de 0,62.

^c : L'effectif théorique minimum est de 1,17.

Néanmoins, les modalités offertes pour ces questions ne sont pas équilibrées puisque deux modalités sont prévues pour indiquer une qualité dégradée et une seule pour une qualité non dégradée. Une modalité supplémentaire du type « qualité améliorée » aurait peut-être produit des résultats moins négatifs. Il est donc possible que ces résultats soient biaisés. De plus, ces analyses portent sur de petits effectifs, les différents tests du Khi-deux ne sont sans doute pas suffisamment fiables. Aussi, nous avons recodé les variables mesurant la qualité perçue des séquences en regroupant les modalités « qualité dégradée » et « qualité vraiment dégradée » en une seule modalité. De ce fait les variables portant sur la qualité perçue des séquences après transformation sont dichotomiques ; la qualité est alors soit perçue comme dégradées soit perçue comme non dégradée, sans indicateur d'intensité. Suite à cette dichotomisation, nous obtenons de nouveaux chiffres pour lesquels une différence très significative apparaît pour la séquence des fractions (tableau 22).

Le recodage en variable dichotomique confirme que les séquences division euclidienne et décomposition additive ont globalement été mieux perçues que la séquence des fractions, quel que soit le groupe considéré. Les différences de qualité perçues pour les séquences division euclidienne et décomposition additive différences sont en faveur du groupe programmation mais ne sont pas statistiquement significatives. En revanche, la qualité de la séquence des fractions a été évaluée comme dégradée pour 66% des enseignants du groupe contrôle contre 28% des enseignants du groupe programmation. Cette différence est significative, pour autant, le nombre de répondants du groupe contrôle est très faible. Par ailleurs, les résultats des analyses des acquisitions mathématiques pour la séquence des fractions n'indiquent pas de meilleurs résultats du groupe programmation sur le groupe contrôle, au contraire, puisque c'est celle qui obtient l'effet le plus négatif du groupe programmation comparativement au groupe contrôle.

Tableau 22. Qualité perçue des séquences après dichotomisation de la variable.

	Qualité dégradée	Qualité non dégradée	Test du Khi2	
	%	%	Val	<i>p</i>
Séquence division euclidienne				
Programmation (n=54)	20,4	79,6	1,51 ^a	0,22
Contrôle (n=24)	33,3	66,7		
Séquence Décomposition additive				
Programmation (n=54)	16,7	83,3	0,74 ^b	0,38
Contrôle (n=24)	25,0	75,0		
Séquence fractions				
Programmation (n=29)	27,6	72,4	5,45 ^d	0,02
Contrôle (n=12)	66,7	33,3		

* $p < ,05$. ** $p < ,01$. *** $p < ,001$.

^a: L'effectif théorique minimum est de 5,85.

^b: L'effectif théorique minimum est de 4,62.

^c: L'effectif théorique minimum est de 9,97.

^d: L'effectif théorique minimum est de 4,68.

Comportement des élèves

Des questions pour recueillir la perception des comportements des élèves ont été posées à l'ensemble des enseignants. Elles demandaient un retour global sur la perception qu'ils ont eu quant au comportement de leurs élèves pendant les séances. Le taux de réponse des enseignants sur la base des 107 enseignants du départ est de 73%. 71 enseignants parmi les 93 qui ont renseigné toutes les données nécessaires à la constitution des analyses sur les acquisitions sur au moins une des séquences en répondant à cet ensemble de questions (soit 76% des enseignants). Sept enseignants ont répondu à cet ensemble de questions, mais n'avaient pas fait remonter les données nécessaires au traitement des analyses sur les acquisitions pour aucune des séquences. Ces enseignants représentent 50% des enseignants dont les classes n'ont pas été traitées pour ces mêmes raisons. L'association de ces informations (76% des enseignants qui ont envoyé les données et 50% de ceux qui ne les ont pas envoyées) autorise à penser que le traitement de ces questions délivre une vision plutôt représentative de l'ensemble des perceptions des enseignants qui se sont inscrits dans le projet.

Les enseignants indiquent avoir ressenti une ambiance de travail assez positive dans les deux groupes. D'après eux, les élèves se sont très majoritairement montrés attentifs, concentrés et motivés et ce d'autant plus qu'ils appartenaient au groupe programmation. Les tests de Khi-deux indiquent que les différences entre groupes n'ont été significatives que pour la motivation ([Annexe 40](#)). Nous présentons ci-après la répartition des réponses à ces questions, en pourcentages, selon les groupes (figures 30 à 34).

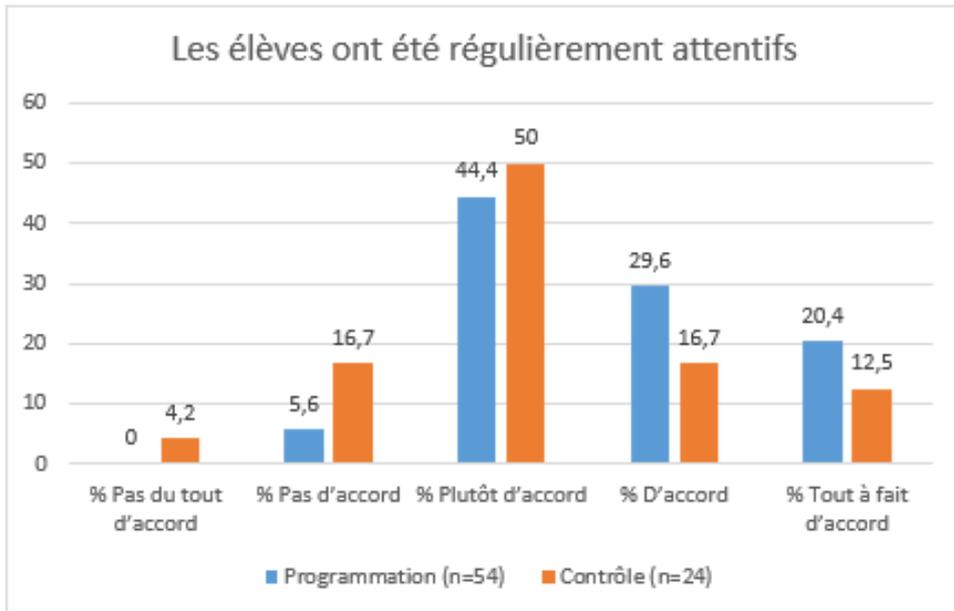


Figure 30. Pourcentage des réponses sur l'attention des élèves.

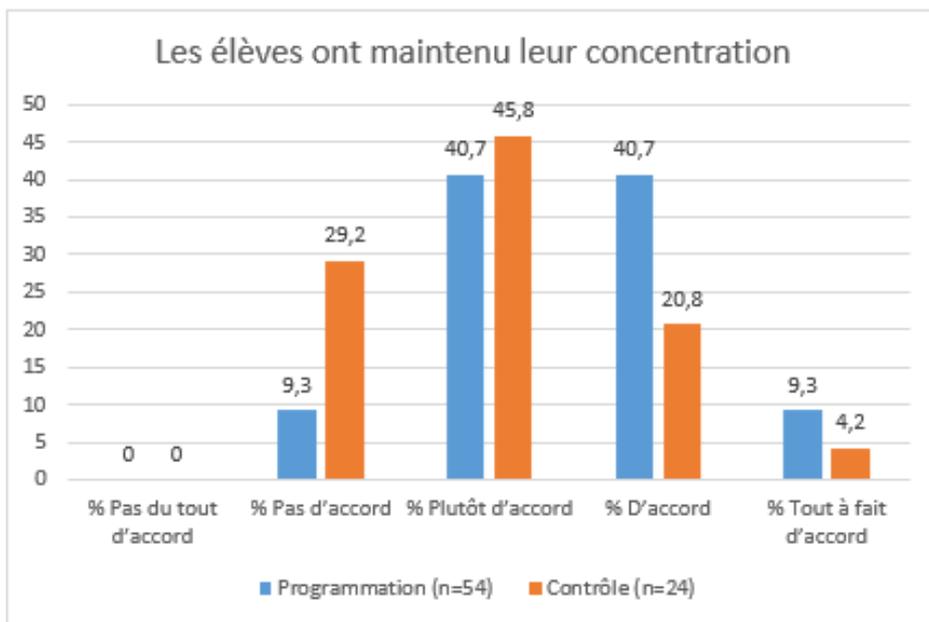


Figure 31. Pourcentage des réponses sur la concentration des élèves.

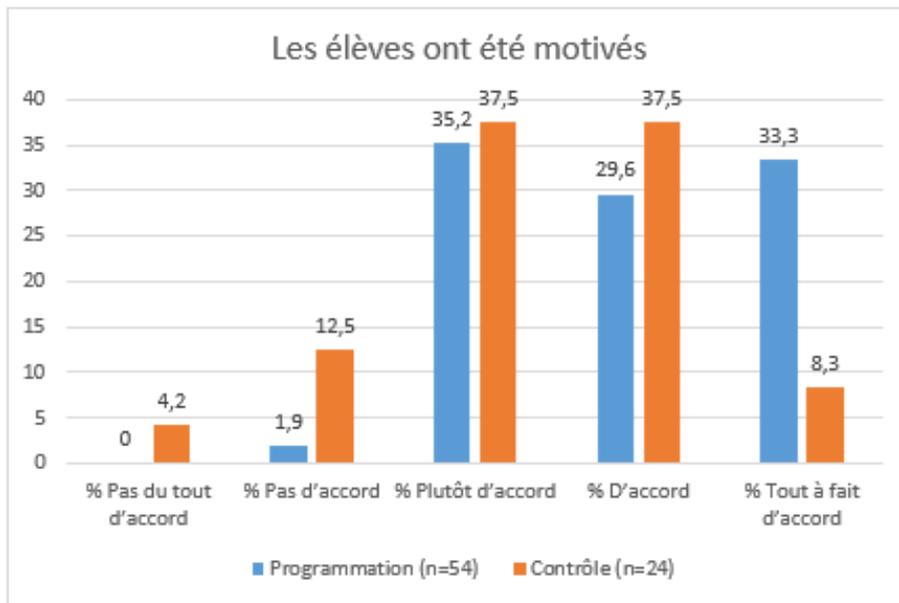


Figure 32. Pourcentage des réponses sur la motivation des élèves.

Concernant la rapidité et l'efficacité dans l'exécution de la tâche, les enseignants des deux groupes délivrent un avis plus négatif que sur les autres perceptions, bien que leur évaluation reste globalement positive. Ainsi, 37,2% des enseignants des deux groupes qui ont répondu ont indiqué « pas d'accord » ou « pas du tout d'accord » à la question de la rapidité dans la tâche (58,3% dans le groupe contrôle contre 27,8% dans le groupe programmation). Les différences de perception des enseignants pour la rapidité entre les deux groupes sont d'ailleurs significatives ($p=0,02$). Concernant de l'efficacité dans la tâche, 25,4% des enseignants des deux groupes ont répondu « pas d'accord » ou « pas du tout d'accord » à la question s'y rapportant.

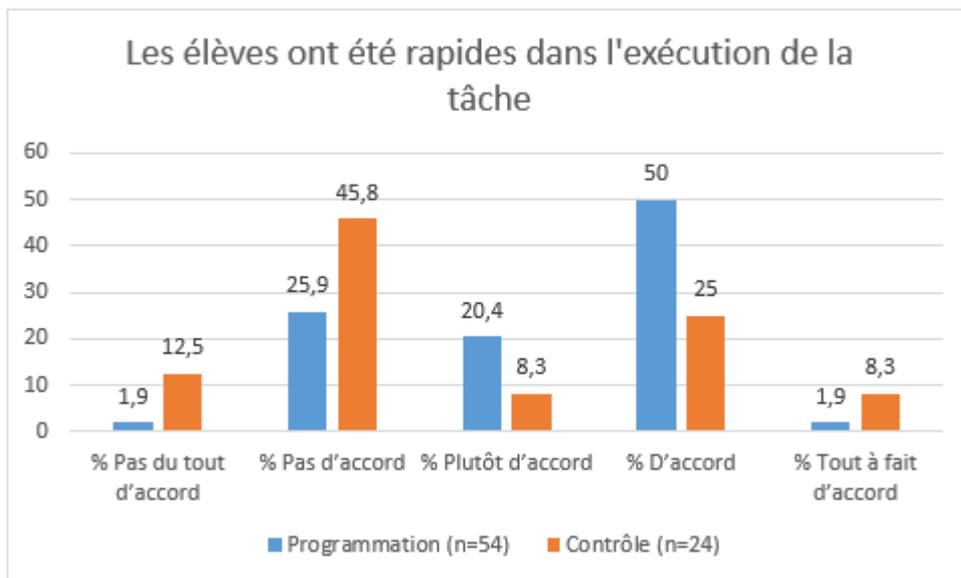


Figure 33. Pourcentage des réponses sur la rapidité des élèves.

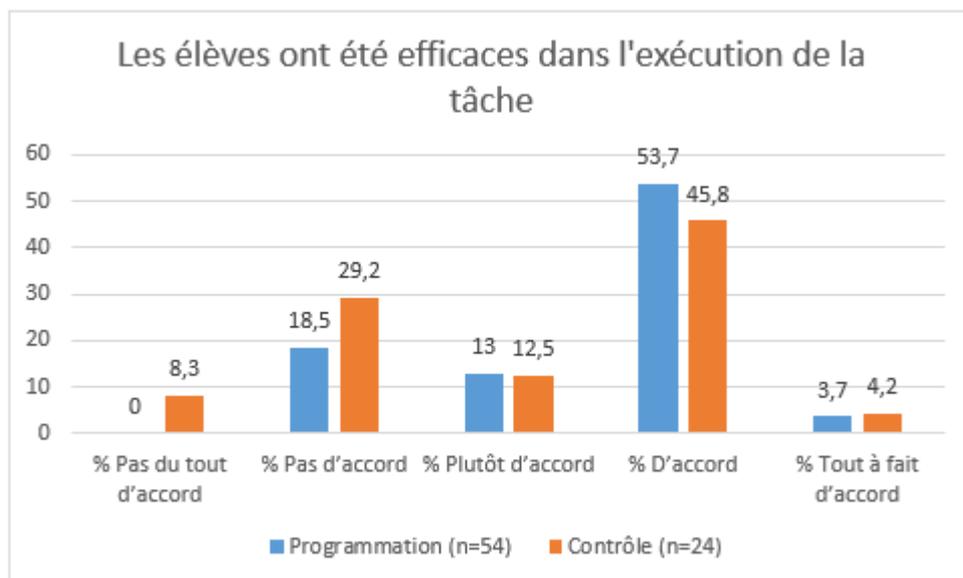


Figure 34. Pourcentage des réponses sur l'efficacité des élèves.

Ainsi, les résultats indiquent des variations de perception des comportements des élèves selon le groupe d'intervention, qui jouent globalement à la faveur du groupe programmation et ne sont significatives que pour la perception de motivation et de rapidité dans la tâche.

Mise en œuvre dans le groupe expérimental

Enfin, des questions spécifiques à la mise en œuvre des séquences du groupe programmation viennent clore cette section (tableau 23). Les questions portaient sur la phase d'explicitation propre au groupe programmation, dont la mise en œuvre était cruciale pour permettre aux élèves de réaliser le transfert d'apprentissage des situations de programmation vers celles de l'écriture symbolique mathématique.

Seuls les enseignants du groupe programmation se sont vus poser les questions détaillées ci-après. Sur les 67 enseignants présents au départ, 43 à 53 d'entre eux ont répondu, selon les questions, pour les séquences division euclidienne et décomposition additive, soit un taux de réponse de 64% à 79% selon les questions. Concernant les questions sur les fractions, le nombre d'enseignants de CM2 du groupe programmation comptait au départ 46 enseignants, ils ont été entre 25 et 28 à répondre aux questions posées, soit un taux de réponse de 54% à 60%.

Les questions pour évaluer la qualité d'implantation de la phase d'explicitation étaient introduites par le préambule suivant : « Pendant les séquences réalisées avec informatique, différents facteurs (niveau des élèves, contraintes d'enseignement ou d'organisation, etc.) ont fait que le temps passé à verbaliser/expliciter/expliciter le lien entre les manipulations/notions informatiques et les notions mathématiques a pu varier sensiblement. Nous voudrions donc mieux comprendre ce qu'il s'est passé séquence par séquence. ».

Puis, les trois questions pour chaque séquence : (1) « Est-ce que vous avez passé du temps à verbaliser/expliciter/expliciter le lien entre les manipulations/notions informatiques et les notions mathématiques ? », les réponses possibles étaient « oui » ou « non » ; (2) « A combien estimez-vous le temps qui a été consacré à cette explicitation (en minutes, au total pour l'ensemble de la séquence) ? » ; (3) « A combien estimez-vous le nombre d'élèves qui faisaient le lien entre les manipulations/notions informatiques et les notions mathématiques ? *Indiquez le nombre d'élèves approximatif en rapport avec le nombre total d'élèves, par exemple 15/25* ». Le tableau suivant rapporte les résultats à ces questions pour les trois séquences.

Tableau 23. Evaluation phase d'explicitation du transfert.

	N	Moyenne	Ecart-type	Min	Max
Division euclidienne					
Explicitation lien programmation – maths (%)	53	92	27	0	100
Temps explicitation (minutes)	51	48,3	38,5	5	180
Proportion d'élèves ayant compris (%)	48	54,5	20,0	0	91
Décomposition Additive					
Explicitation lien programmation – maths (%)	53	89	32	0	100
Temps explicitation (minutes)	50	45,6	36,6	5	180
Proportion d'élèves ayant compris (%)	43	60,1	18,6	17	91
Fractions					
Explicitation lien programmation – maths (%)	28	89	31	0	100
Temps explicitation (minutes)	25	43,0	31,3	5	120
Proportion d'élèves ayant compris (%)	27	62,2	17,0	22	82

Ce tableau montre peu de variabilité entre les séquences sur ces trois questions. Pour autant, le temps d'explicitation indique des écarts très marqués entre enseignants. Sans doute cette question manquait-elle de précision. Certains enseignants ont par exemple indiqué avoir accordé 180 minutes d'explicitation pour une séquence, ce qui correspondrait à la totalité des séances de la séquence (voire un peu plus, car les séquences comptaient trois séances de 50 minutes). Il semblerait donc que la grande variabilité de cette mesure soit davantage le reflet d'une variabilité d'interprétation de la question du questionnaire par les enseignants. Nous ne pouvons donc pas accorder de crédit aux réponses à cette question.

Néanmoins, une proportion importante des enseignants déclare avoir explicité le lien entre programmation et mathématiques (de 89% à 92% des enseignants du groupe programmation) ce qui soutient l'idée que les enseignants ont tenu compte des indications des fiches de préparations et indications pédagogiques qu'elles fournissaient. Les enseignants estiment que plus de la moitié de leurs élèves ont compris ce lien, et cette proportion va grandissante au fil des séquences (de 54,1% à 62,2% des enseignants du groupe programmation).

2. Eléments propres au design du dispositif

A. Calibrage des séquences

Les éléments relatifs au design expérimental renforcent la confiance que nous avons dans la qualité de mise en œuvre de notre dispositif. Le protocole a été construit de sorte que les enseignants impliqués dans le projet suivent les indications que nous leur avons données pour l'organisation des séquences qui étaient soigneusement calibrées. Ainsi, les notions étaient clairement ciblées (division euclidienne, décomposition additive, fractions) ce qui facilite la mise en œuvre pour les enseignants. L'ordre des séquences était précisé : d'abord la division euclidienne, puis la décomposition additive et enfin les fractions.

Cet ordre correspondait à l'ordre dans lequel nous avons recueilli les pré et post-tests de ces séquences, ce qui indique que l'ordre requis a été correctement suivi. Les séquences nécessitaient la mise en œuvre de seulement trois séances d'environ 50 minutes chacune. Ce cadrage précis et limité dans le temps aura permis d'éviter la dilution avec d'autres enseignements délivrés dans la classe, en dehors de ceux exigés par le protocole. Cela évite également le désengagement qui peut être observé dans des séquences plus longues. La partie évaluation (prétests et post-test) était plus exigeante que les séances de travail. En effet, les enseignants devaient libérer du temps dédié aux évaluations pré et post-tests. Ces temps n'étaient pas directement utiles aux apprentissages. Le fait que la majorité des enseignants se soient astreints à l'organisation des pré et post-tests dans leurs classes, et compte tenu de la perte de temps qu'elle pouvait représenter, nous pensons qu'ils ont pris le temps de réaliser les séquences qui s'y rattachaient entre temps, ces dernières étant bien plus profitables aux apprentissages de leurs élèves. Nous pensons donc que les enseignants qui nous ont remis les pré et post-tests ont correctement suivi ce protocole.

B. Le matériel

Les écoles du groupe de programmation disposaient du matériel nécessaire à la réalisation des séquences. En effet, la ville de Grenoble a déployé plusieurs flottes de PC qu'elle a mises à disposition des écoles du groupe expérimental. Les écoles des autres villes ne bénéficiaient pas de ce dispositif, mais nous nous sommes assurés qu'elles disposaient du matériel nécessaire pour cela.

3. Synthèse sur l'implantation du dispositif

Les enseignants n'ont pas tous répondu à l'ensemble des questions que nous avons présentées, ce qui nous empêche d'affirmer que le déploiement de notre dispositif s'est déroulé exactement comme attendu. Pour autant, les taux de réponses restaient globalement assez importants, aussi nous considérerons avec une assez bonne confiance que le déploiement des activités des différentes séquences et autres passations s'est globalement déroulée conformément à nos attentes dans les deux groupes.

Les données recueillies auprès des enseignants indiquent une adhésion importante au dispositif avec une part importante d'enseignants qui a décidé de se réengager dans le dispositif (sans questionnaires ni pré et post-tests cette fois-ci), l'année suivante. L'évaluation de la qualité de la formation suivie par les enseignants des deux groupes est bonne et une grande majorité d'entre eux déclare avoir été suffisamment préparée pour conduire les séquences de leur groupe, avec le sentiment de maîtriser les principes didactiques nécessaires au déroulement des séquences. Enfin, concernant la maîtrise de l'outil de programmation, 79% des enseignants du groupe programmation qui ont répondu se sentaient prêts pour réaliser les séquences.

A la suite du dispositif, les enseignants des deux groupes qui ont répondu ont indiqué dans leur majorité qu'ils avaient le sentiment que les séances du dispositif n'avaient pas une qualité dégradée comparativement aux séquences qu'ils mènent habituellement. Ceci ne s'applique pas à la séquence des fractions pour le groupe contrôle, dont les enseignants ont dans l'ensemble jugé que la qualité de la séance était dégradée. Pour autant, cette dégradation perçue ne s'est pas fait ressentir dans les résultats des analyses multiniveaux sur les acquisitions pour cette séquence qui est celle qui marque l'écart le plus important entre les deux groupes au profit du groupe contrôle (+0,21 ET).

Les enseignants des deux groupes qui ont répondu ont globalement jugé que leurs élèves s'étaient montrés attentifs, concentrés, motivés, rapides et efficaces, bien que nous ayons noté de légères variations de perception des comportements des élèves selon le groupe, en faveur du groupe programmation. Notons à ce propos que ces différences de perceptions à la faveur du groupe programmation ne se sont pas traduites en meilleurs effet de la programmation sur les acquisitions ou la conation, puisque les acquisitions ont toutes été plus faibles en moyenne dans le groupe programmation et qu'il n'y a pas eu de différence d'effet entre groupe programmation et groupe contrôle sur la conation. Ainsi, si ces données sont intéressantes pour

comprendre la perception des enseignants sur leur groupe d'élèves, elles ne traduisent pas forcément la réalité des attitudes des élèves. Car comme nous l'avons signalé en discussion de la partie conative, si les enseignants du groupe programmation ont trouvé leurs élèves très motivés et plus fortement que dans le groupe contrôle, les questionnaires élèves sur la motivation autodéterminée n'ont pas confirmé cela.

La phase d'explicitation était très importante pour la réussite du transfert d'apprentissage entre les deux registres mathématiques dans le groupe programmation. Dans leur grande majorité, les enseignants qui ont répondu ont déclaré l'avoir mise en œuvre. Des observations plus précises seraient nécessaires afin d'en estimer la variation, en termes de temps, d'interactions enseignants-élèves et de guidage, entre les pratiques enseignantes. Ces mesures pourraient peut-être permettre d'attribuer des effets différentiels de l'expérimentation à de potentielles variations sur ces mesures.

Enfin, les enseignants disposaient de séquences très cadrées et du matériel pour les mettre en œuvre. Les différents rendus de pré et post-tests nous ont donné l'assurance que les séquences ont été délivrées dans les temps requis et dans l'ordre prévu.

Chapitre V - Limites et perspectives de recherche

Notre recherche présente plusieurs limites. Premièrement, la portée de nos résultats ne concerne que la population que nous avons étudiée, pour l'apprentissage des notions mathématiques pour lesquelles il est possible de traduire l'expression symbolique mathématique à apprendre en programmes. Il serait nécessaire de mener d'autres études avec des personnes d'âges différents afin de vérifier si le transfert des apprentissages est plus facile à certains âges et lesquels. De même, l'utilisation de la pensée informatique *via* la programmation comme véhicule d'apprentissage devrait être étudiée au sein d'une grande variété de disciplines, scientifiques ou non, afin de déterminer si certaines sont plus propices à ce mode d'apprentissage.

1. Limites et perspectives propres aux modèles sur les acquisitions

Les futures recherches devraient inclure des mesures de charge cognitive, des mesures d'acquisition en mathématiques dans le registre de la programmation et des mesures d'acquisitions en pensée informatique. Les mesures de charges cognitives peuvent être obtenues en utilisant la technique introduite par Paas (1992) pour cibler la charge cognitive globale attribuable aux activités de programmation par rapport au groupe de contrôle. Ces mesures permettraient de comprendre si la difficulté à transférer l'apprentissage s'explique par une charge cognitive excessive dans le groupe programmation. Elles pourraient être réalisées à chaque séance de travail. Les mesures de charge cognitive ont fait l'objet de critiques parce qu'elles sont basées sur des réponses autodéclarées et ne font pas la distinction entre la charge cognitive intrinsèque et la charge cognitive extrinsèque (De Jong, 2010 ; Schnotz & Kürschner, 2007). Elles présentent néanmoins de bonnes qualités psychométriques, sont corrélées avec les mesures physiologiques de charge cognitive tout en présentant l'avantage d'être plus faciles à effectuer (Sweller *et al.*, 2019).

Des mesures d'acquisition en mathématiques dans le registre de la programmation permettraient de mieux situer les difficultés qui ont contrarié le transfert d'apprentissage. Il

serait également intéressant de mesurer les acquisitions en programmation des élèves (pré- et post-tests) pour les deux groupes. Rappelons que notre dispositif n'avait pas pour vocation l'apprentissage de la programmation, mais son exploitation comme véhicule d'apprentissage pour apprendre des mathématiques. Néanmoins, l'utilisation de la programmation a probablement permis aux élèves de développer des compétences en programmation, comme ça a été le cas dans l'étude *ScratchMaths* (Boylan *et al.*, 2018) qui a montré des effets sur les acquisitions en pensée informatique (0,10 ET). L'absence de mesures empêche d'avoir une vision plus globale des effets que produit le dispositif.

Enfin, dernier point concernant les mesures, il aurait été intéressant d'inclure des post-tests différés pour chacune des mesures d'acquisition et chacune des notions travaillées afin d'évaluer l'effet des séquences sur le transfert de l'apprentissage à plus long terme.

Concernant les gestes pédagogiques au sein du dispositif, le transfert de l'apprentissage n'a pas eu lieu de la manière attendue dans le groupe de programmation, bien que les enseignants aient été enjoins de mettre explicitement en évidence des éléments communs entre les deux situations d'apprentissage. Une première hypothèse pour expliquer cela est que la phase d'explicitation que nous avons requise n'est pas suffisante pour permettre le transfert des apprentissages de la programmation vers les mathématiques. Une autre hypothèse est que la phase d'explicitation n'a pas été correctement réalisée. Il serait donc important de contrôler l'implantation de cette phase en réalisant des observations pour mesurer l'intensité de la guidance mise en œuvre pendant la phase d'explication. Cela nous permettrait de saisir les variations entre enseignants et estimer leur effets sur la capacité des élèves à transférer leurs connaissances. En outre, il serait intéressant d'enrichir la phase d'explicitation du transfert en incluant une approche métacognitive de celui-ci (Fuchs *et al.*, 2003 ; Perkins et Salomon, 1992) pour familiariser explicitement les élèves avec le transfert d'apprentissage, ses avantages et les stratégies à mettre en œuvre pour le réaliser.

La théorie de la charge cognitive propose de nombreuses adaptations pour considérer les limites de la mémoire de travail. Certaines d'entre elles semblent pertinentes pour de futures études. Par exemple, il serait opportun de faire travailler les élèves sur des exercices résolus lors des activités de programmation traitant de nouveaux concepts. Cette adaptation, pertinente pour les élèves novices, réduit le nombre d'interactions entre les éléments qui doivent être traités simultanément et on sait que la programmation génère un taux élevé d'interaction entre les éléments (Berssanette & de Francisco, 2021). De plus, les exercices résolus placent l'élève

directement face aux stratégies efficaces pour résoudre le problème, ce qui évite qu'il ne se perdent en tâtonnements inopérants. Les problèmes résolus peuvent être graduellement remplacés par des problèmes de complétion et des problèmes traditionnels, dès lors que les concepts traités ne sont plus nouveaux.

Utiliser la programmation pour apprendre les mathématiques impose un niveau d'interaction des éléments plus élevé que l'apprentissage de la programmation seule ou des mathématiques seules ; c'est l'effet des éléments isolés interagissant. Dans ce cas, la théorie de la charge cognitive préconise d'apprendre isolément les éléments nouveaux à travers des situations d'apprentissages intermédiaires propres à chaque élément isolé. Nous pensons qu'il est possible que cet effet se soit produit lors des exercices de résolution de problèmes en programmation et dans la phase de transfert d'apprentissage. Nous proposons un nouvel ordonnancement de l'apprentissage pour conduire les séquences du dispositif et parvenir aux mêmes objectifs d'apprentissage. Ainsi, avant d'apprendre à résoudre des problèmes mathématiques en utilisant la programmation, si cette situation est trop lourde cognitivement, il faudrait que les élèves apprennent d'abord à programmer (premier élément isolé). D'autres part, il faudrait qu'ils apprennent à résoudre les problèmes mathématiques de façon traditionnelle (second élément isolé). Enfin, ils pourraient utiliser leurs connaissances en programmation et mathématiques pour résoudre les problèmes mathématiques dans l'environnement de programmation. Ainsi, l'apprentissage n'irait plus des mathématiques avec la programmation vers l'écriture symbolique mathématique, mais dans le sens contraire, avec l'étape d'apprentissage des concepts de base de la programmation si nécessaire. Il s'agirait alors d'utiliser le registre de programmation pour approfondir ses connaissances mathématiques et non pour les découvrir. Cet ordonnancement semble plus approprié car il va des situations les plus « simples » aux situations les plus complexes. L'intérêt du dispositif serait inchangé concernant l'exploitation des deux registres pour apprendre des mathématiques.

Par ailleurs, il est possible qu'il y ait eu, dans le groupe programmation, un effet d'attention partagée, notamment lors des phases de « traductions » des programmes en écriture symbolique mathématique. Pour ces exercices, les élèves devaient porter leur attention sur leur écran (pour visualiser leurs programmes) et sur leur feuille (pour traduire ces programmes). Il faudrait, pour de prochaines interventions, penser les tâches qui font intervenir simultanément les deux registres de sorte que soit intégré les programmes à traduire et l'écriture symbolique mathématique dans le même espace de travail (Sweller, 2010).

Enfin, un dernier ajustement qui pourrait réduire la charge cognitive des élèves serait de configurer l'environnement de programmation afin qu'il soit purgé de tous les éléments inutiles à la résolution de la tâche. Pour autant, à notre connaissance, il n'y a pas encore de paramètres qui permette à ce jour de configurer les éléments à afficher dans l'environnement de programmation *Scratch*.

2. Limites et recherches futures propres aux modèles conatifs

En plus des mesures conatives relatives aux mathématiques, il serait intéressant de réaliser des mesures sur ces mêmes construits, relativement à la programmation. Cela nous permettrait de saisir les effets de la programmation en classe sur un plus large spectre de variables. Nous pourrions ainsi voir si nous retrouvons des résultats similaires aux études qui ont été conduites sur ces variables. Cela permettrait également de fournir les premiers éléments d'une base qui permettrait d'étudier les relations entretenues entre les variables conatives liées aux mathématiques et celles liées à la programmation. Ainsi, Hembree (1990) indiquait les corrélats entre anxiété mathématiques et d'autres construits, notamment la confiance en soi en informatique ($r=-0,32$), ou l'anxiété aux ordinateurs ($r=0,39$). De telles mesures permettrait de compléter cette base en incluant le sentiment de compétence et la motivation autodéterminée, en, plus de l'anxiété.

Nous nous sommes interrogés sur l'effet de l'organisation de l'intervention dans la classe des enseignants pour comprendre pourquoi toutes les variables conatives se sont dégradées, quel que soit le groupe d'intervention, avec par exemple une diminution de la motivation intrinsèque et du sentiment de compétence et une augmentation de l'anxiété. Nous avons émis l'hypothèse que cela provenait peut-être du fait d'une lourdeur administrative et d'un stress lié au timing, mais nous n'avons pas de mesures à notre disposition qui nous permette de creuser cette hypothèse plus avant. Nous suggérons que les prochaines interventions devraient comporter des mesures supplémentaires, notamment peut-être, faire passer des questionnaires de mesures conatives dans des classes sans aucune intervention, sur les mêmes périodes pour estimer si la tendance observée au sein de l'ensemble des classes de notre intervention est due à notre dispositif ou si elle est « normale ». Ces mesures pourraient être avantageusement complétées par des questionnaires évaluant le coût en temps, en charge cognitive, de la mise en œuvre du dispositif.

Enfin, une limite importante tient au design de notre dispositif. Ainsi, les mesures conatives ont été réalisées en T1 et T9, avant et après l'intervention, afin d'évaluer l'effet de l'intervention sur ces variables. Néanmoins, les scores de performances ont, eux, été réalisés en T2, T3, T4, T5, T6, T7 et T8, soit entre les temps de mesures conatives. Ce design empêche toute analyse de médiation des variables conatives sur les apprentissages. C'est une limite importante car si nous nous intéressons aux variables conatives, c'est précisément parce qu'elles affectent les apprentissages. Dans notre étude, le fait qu'il n'y ait pas d'effet de l'intervention sur les variables conatives indique l'absence de ces possibles médiations des variables conatives sur les apprentissages. Cela rend le mauvais alignement de notre design avec nos objectifs moins importun. Néanmoins, pour de prochaines études, il faudra prévoir de mesurer les variables conatives avant les scores d'acquisition de chaque séquence. Cela permettrait tout à la fois de mieux cerner ce qui se passe en termes conatifs et de mener d'éventuelles analyses de médiation des apprentissages par ces variables.

Chapitre VI - Conclusion générale

Notre thèse répondait à l'appel à projets e-FRAN qui devait permettre d'expérimenter « de nouvelles manières d'enseigner et d'apprendre, à partir de dispositifs pédagogiques et numériques innovants dans un cadre scientifique rigoureux ». Notre projet a répondu à cet appel proposant d'utiliser la pensée informatique à travers des activités de programmation pour apprendre les mathématiques en CM1 et CM2.

Nous avons ciblé les mathématiques, car leurs acquisitions sont des déterminants forts de réussite académique et professionnelle. Néanmoins, les études, nationales et internationales indiquent un déclin important des compétences des élèves dans cette discipline (DEPP, 2019 ; CNESCO, 2015 ; PISA, 2015, TIMSS, 2015). En cohérence, ces enquêtes indiquent que la motivation et la confiance en soi des élèves en mathématiques se sont dégradées en France entre le CM1 (TIMSS4, 2015) et la 4^e de collège (TIMSS8, 2019). Or, la motivation et le sentiment de compétence peuvent être des leviers d'apprentissage (Hattie, 2008).

Pour améliorer les apprentissages mathématiques, nous avons décidé d'utiliser la pensée informatique à travers la programmation visuelle. En effet, l'arrivée des langages de programmation visuels (et non plus textuels) a ouvert de nouvelles possibilités d'exploiter la pensée informatique dès le plus jeune âge. C'est ainsi que de nombreux décideurs politiques, qui voient dans la pensée informatique une compétence essentielle à développer dès l'Ecole, s'emploient à l'intégrer dans les programmes scolaires (Conrad *et al.*, 2017). En alignement avec cette tendance, la pensée informatique est entrée dans les programmes français de l'école primaire depuis la rentrée 2016 (Bulletin officiel spécial n°11 du 26 novembre 2015), à travers les mathématiques dont elle est considérée comme très proche (Clements, 2000 ; Hoyles & Noss, 1987 ; Shute *et al.*, 2017 ; Voogt *et al.*, 2015).

Nous avons voulu tester l'effet d'un dispositif permettant de comparer l'apprentissage des mathématiques sur trois notions cibles, en utilisant la programmation pour faire des mathématiques *versus* en appliquant les techniques habituelles d'apprentissages de ces mêmes notions. Nous avons également testé l'effet de ces nouvelles pratiques sur trois variables

conatives : la motivation autodéterminée en mathématiques, le sentiment de compétences en mathématiques et l'anxiété en mathématiques.

Nous avons évoqué les problèmes méthodologiques des études en éducation concernant l'effet du numérique. En réalité, ce phénomène n'est pas restreint à ce domaine de recherche : un nombre important d'études en sciences de l'éducation ont délivré des résultats non reproductibles à grande échelle, souvent à cause de ces mêmes problèmes méthodologiques (Lortie-Forgues & Inglis, 2019). Les recherches « evidence-based », basées sur données probantes (ou preuves), assurent de meilleurs standards méthodologiques et répondent ainsi à l'intérêt des décideurs politiques en matière d'éducation (*evidence-based policy*). Ces recherches s'appuient sur les prescriptions méthodologiques de l'IES (Institute of Education Science, basée aux Etats-Unis) qui permettent d'obtenir des effets plus exacts.

1. Une recherche fondée sur les données probantes

Nous avons évoqué les problèmes méthodologiques des études en éducation concernant l'effet du numérique. En réalité, ce phénomène n'est pas restreint à ce domaine de recherche, un nombre important d'études en sciences de l'éducation ont délivré des résultats non reproductibles à grande échelle, souvent à cause de ces mêmes problèmes méthodologiques (Lortie-Forgues & Inglis, 2019). Les recherches « evidence-based », basées sur données probantes (ou preuves), assurent de meilleurs standards méthodologiques et répondent ainsi à l'intérêt des décideurs politiques en matière d'éducation (*evidence-based policy*). Ces recherches s'appuient sur les prescriptions méthodologiques de l'IES (Instute of Education Science, basée eux Etats-Unis) qui permettent d'obtenir des effets plus exacts.

Ce courant intègre un principe important qui souligne la recherche des meilleurs effets : la pratique du groupe d'intervention est jugée efficace si elle fonctionne mieux que les autres pratiques (Cook *et al.*, 2012). Pour autant, les élèves des groupes mis en comparaison ne sont pas *a priori* défavorisés car ils doivent bénéficier des meilleures pratiques connues dans le domaine évalué. De la même façon, les individus du groupe d'intervention testent un dispositif pour lequel les chercheurs ont des raisons théoriques de penser qu'il sera meilleur que les meilleures méthodes connues (Dehaene & Pasquinelli, 2020). Nos deux groupes répondaient à cette exigence de qualité.

Les ECR font partie du courant *evidence-based* en éducation, ils s'appuient sur une méthodologie rigoureuse incluant : une recherche expérimentale, randomisée, portant sur des échantillons de grande taille offrant la puissance statistique requise (Lortie-Forgues & Inglis, 2019). Les ECR sont requis pour juger de l'efficacité de dispositifs ou pratiques avant leur passage à l'échelle. Néanmoins, leur mise en œuvre à grande échelle impose un investissement financier parfois infranchissable pour les laboratoires de recherche, c'est pourquoi ils requièrent le soutien de l'institution et sont souvent le fruit de commandes gouvernementales.

En France, le consortium e-FRAN a permis la réalisation de tels ECR, comme c'est le cas de notre recherche. Les contraintes méthodologiques des ECR assurent de la fiabilité des résultats (évite notamment que leurs effets ne soient surévalués). Ces contraintes sont utiles pour permettre une comparaison fiable des différents résultats issus d'études produites selon les mêmes standards méthodologiques (Cheung & Slavin, 2016).

2. Efficacité des activités mathématiques utilisant la programmation visuelle sur les apprentissages mathématiques

De très nombreuses recherches ont été réalisées sur les effets de la programmation en contexte éducatif. Cependant, la plupart d'entre elles portent sur les effets de la programmation sur le développement des compétences liées à la pensée informatique. Certaines sont conduites à travers les mathématiques, mais n'évaluent pas les effets de la programmation sur les acquisitions en mathématiques. Finalement, peu d'études rigoureuses traitent de l'effet de la programmation sur la réussite en mathématiques (Grover & Pea, 2013). Notre étude comble en partie ces lacunes.

Notre étude a montré que l'utilisation de la programmation comme vecteur d'apprentissage des mathématiques en CM1 et CM2 n'est pas aussi efficace que les leçons ordinaires où les mathématiques sont enseignées pour elles-mêmes. Le transfert de l'apprentissage est crucial, mais difficile à réaliser. Ainsi, les langages de programmation visuelle doivent être introduits avec prudence s'ils sont destinés à remplacer l'enseignement régulier des mathématiques. Les résultats présentés sont un indicateur fort que cela pourrait être délétère pour l'acquisition des mathématiques.

L'utilisation de la programmation pourrait être exploitée pour des activités mathématiques complémentaires, qui ne réduiraient pas le temps consacré aux leçons régulières, mais pourraient être placées à d'autres moments sous différentes formes : travail complémentaire pour gérer des groupes de travail différenciés ou approfondissement d'une notion, par exemple. En outre, si la pensée informatique doit être considérée comme une nouvelle forme d'alphabétisation, comme l'annonce la Commission Européenne (Bocconi *et al.*, 2016), alors les éléments précédents accréditent l'idée qu'il faut l'intégrer comme une discipline propre, avec des temps dédiés dans les programmes, au moins pour les classes CM1 et CM2 et non comme un outil qui pourrait s'intégrer aux disciplines, sans formation spécifique des enseignants. Dans l'optique d'un apprentissage de la pensée informatique, un logiciel tel que *Scratch* pourrait se révéler utile. En effet, bien que nous ne l'ayons pas évalué dans notre travail, l'étude *ScratchMath* indique un effet significatif sur les résultats des tests de pensée informatique (0,10 ET) pour le groupe d'intervention.

3. L'interprétation des tailles d'effet, une caractérisation sensible à la méthodologie

Les résultats produits par notre ECR sont faibles (de -0,16 ET à -0,21 ET) si on les interprète selon les seuils définis par Cohen (0,2=petit, 0,5=moyen, 0,8=grand). Néanmoins, ces seuils ne semblent plus adaptés, en tout cas pour interpréter les effets des ECR.

Ainsi, comme nous l'avons vu, les tailles d'effets produites par les études en sciences de l'éducation lors des dernières décennies ont été surévaluées du fait d'un certain nombre de failles méthodologiques. L'application des prescriptions méthodologiques de l'IES a eu pour conséquence de considérablement réduire les tailles d'effets produits comparativement aux études qui ne les appliquent pas (Kraft, 2020). La concomitance d'études appliquant et n'appliquant pas les standards méthodologiques pose un épineux problème d'interprétation des résultats, qui peut conduire à la formation de conclusions déformées voire faussées (Cheung & Slavin, 2016 ; Lortie-Forgues & Inglis, 2019).

Par exemple, l'effet moyen des 300 méta-analyses de la revue de Lipsey et Wilson (1993), cités par Kraft (2020) est de 0,50 ET, bien supérieur à l'effet moyen observé des seuls ECR répondant à des exigences méthodologiques de l'EEF (*Education Endowment Foundation*, basée en Grande-Bretagne) et la NCEE (*National Center for Educational Evaluation*, basée aux Etats-Unis d'Amérique), qui tombe à 0,06 ET (Lortie-Forgues & Inglis, 2019). Kraft (2020) indique que les études comptant plus de 2 000 participants (effet médian de 0,03 ET) produisent des effets beaucoup plus faibles que celles réalisées avec des échantillons de 100 participants ou moins (effet médian de 0,24 ET).

Kraft (2020) rappelle que les repères de Cohen ont été établis il y a plus de 50 ans sur la base d'expériences de laboratoire hautement contrôlées en psychologie sociale qui produisent des effets plus importants que la recherche écologique et ne correspondent pas aux essais contrôlés randomisés menés en sciences de l'éducation. Dans le cadre de l'application d'une méthodologie plus stricte, Kraft (2020) propose les repères suivants pour les ECR comme le nôtre : moins de 0,05 ET, l'effet est considéré comme petit, de 0,05 ET à 0,20 ET, l'effet est considéré comme moyen, plus de 0,20 ET, l'effet est grand. Considérant cela, notre intervention a globalement produit un effet négatif d'ampleur moyenne.

En plus de ces repères, Lortie-Forgues et Inglis (2019) préconisent de reconsidérer les seuils d'interprétation des tailles d'effets en les ajustant aux distributions des tailles d'effets observées pour la discipline et le niveau ciblés (Bakker *et al.*, 2019 ; Kraft, 2020). En d'autres termes, il convient de considérer la taille d'effet d'une étude, en tenant compte de sa place dans la distribution, des effets produits par des études portant sur la même discipline et le même niveau scolaire (Kraft, 2020 ; Lortie-Forgues & Inglis, 2019). Pour notre cas, les tailles d'effet des trois séquences de notre étude correspondent au décile le plus faible de la distribution des tailles d'effets des ECR pour les études sur l'apprentissage des mathématiques au 4^e et 5^e grades (Kraft, 2020).

Les résultats de notre étude se situent clairement dans la queue inférieure de la distribution des ECR. Cela signifie que très peu d'ECR similaires au nôtre (en fait, moins de 10 % si l'on en croit la recension de Kraft, 2020) ont produit des effets aussi défavorables au groupe expérimental. Les pratiques que nous avons mises en œuvre ne peuvent donc pas être considérées comme efficaces bien que les différences de performances entre les deux groupes, programmation et contrôle, ne soient pas disproportionnées.

4. Effets des activités de programmation en mathématiques sur la conation mathématique

Nous avons relevé que les études s'intéressant à l'effet de la programmation visuelle sur la motivation étaient souvent insuffisamment rigoureuses. De plus, les études qui s'intéressent aux effets de la programmation sur la conation portent sur la conation en programmation. Nous avons étudié les effets de la programmation sur la conation mathématique, par le biais d'une méthodologie rigoureuse (ECR, pré et post tests, outils de mesure psychométriquement fiables).

Nos résultats ont montré une absence d'effet des activités de programmation sur nos variables conatives : la motivation autodéterminée, le sentiment de compétence et l'anxiété, en mathématiques. Les résultats des modèles sont conformes aux attentes théoriques du point de vue des relations qu'elles entretiennent, notamment leur formation en constellation d'approche ou d'évitement. Cela nous donne une bonne assurance de la validité des résultats. Notons que l'absence d'effet de la programmation sur nos variables conatives est intéressante car elle remet en question le caractère motivant que produirait systématiquement l'introduction des technologies en classe.

Nous n'avons pas observé d'interaction entre les variables mesurées en T1 et l'intervention. L'effet de l'intervention est donc le même quel que soit le niveau mesuré en début d'expérimentation pour ces trois variables. Le design de notre dispositif ne permet pas de distinguer l'effet de l'intervention sur ces variables, de l'effet de l'enseignant dans les autres moments de classe. De plus la stabilité de ces variables dans le temps empêche peut-être de saisir des variations trop minimes que l'on pourrait capter sur des dispositifs plus longs.

*

* *

Depuis près de quinze ans, l'arrivée de nouveaux langages de programmation visuelle a relancé la volonté des décideurs politiques d'intégrer la pensée informatique dans les programmes scolaires, déjà bien (trop ?) chargés. Le traditionnel triptyque « lire, écrire, compter » doit désormais céder un peu de place à la pensée informatique dont la maîtrise, jugée indispensable aux citoyens du XXI^e siècle, se doit pour cela d'être enseignée.

Son caractère transversal, lié à la pensée pour résoudre des problèmes, semble indiquer que sa place « naturelle » peut être la discipline des mathématiques. Tel un *Deus ex machina*, cette organisation est censée résoudre trois problèmes en un seul « coup ». Les élèves apprennent la pensée informatique. Ils s'améliorent en mathématiques, notamment en résolution de problèmes. Et nul besoin pour cela de rajouter des heures aux programmes scolaires, car la pensée informatique est un outil « au service de ». Pour autant, les améliorations attendues ne sont pas au rendez-vous. Nos résultats montrent que les élèves du groupe programmation n'ont pas développé de compétences générales particulières à la résolution de problèmes. Ils ne parviennent pas aussi bien que les élèves du groupe contrôle à résoudre des problèmes qui portent sur la même structure profonde que ceux sur lesquels ils ont travaillé en programmant. Nous pensons qu'une plus-value pédagogique du numérique réside cependant dans la rétroaction qu'elle permet, sans jugement, face à l'erreur. Aussi, compte tenu des difficultés qu'éprouvent les élèves français en mathématiques et particulièrement en résolution de problèmes, nous suggérons de renforcer le rôle indispensable de l'enseignant pour améliorer les apprentissages et la motivation des élèves. L'enseignant doit pour cela s'appuyer sur des pratiques efficaces éprouvées, favorisant l'explicitation, le guidage, les interactions de qualité ; et développer un nouveau rapport à l'erreur, qui autorise les élèves à se tromper sans honte ni culpabilité.

Par ailleurs, compte-tenu de l'impact écologique du déploiement des très nombreuses machines nécessaires à la programmation à l'école, accorder une haute importance à la formation des forces vives du numérique est un choix de société qui doit être interrogé au-delà des effets que cela peut avoir sur les acquisitions mathématiques. Au-delà même de savoir si nous voulons plus de numérique pour nos enfants (Desmurget, 2019), se pose la question de la société que nous appelons de nos vœux pour les générations à venir. Une société qui mise sur le développement des technologies de l'information et de la communication, industries dont les émissions mondiales de gaz à effet de serre ne cessent d'augmenter (Nicolai & Peragin, 2022 ; Marquet *et al.*, 2019), destructrices et inévitables, porte peu d'espoirs (Bihouix, 2017). Dans le même temps, l'éducation doit faire face à un autre enjeu de taille : la transition écologique. Le choix des compétences que nous souhaitons pour nos générations futures, entre celles liées à la transition écologique et celles liées à la transition numérique, que tout semble opposer, apparaît comme éminemment politique et nécessite que nous y réfléchissions tous, citoyens éclairés que nous sommes, en ayant en tête que ce choix peut faire la différence.

Références

A

- Ackermann, E. (2001). Piaget's constructivism, Papert's constructionism: What's the difference. *Future of learning group publication*, 5, 438.
- Ames, C. (1992). Classrooms: Goals, structures, and student motivation. *Journal of educational psychology*, 84(3), 261.
- Ashcraft, M. H., & Kirk, E. P. (2001). The relationships among working memory, math anxiety, and performance. *Journal of experimental psychology: General*, 130, 224.
- Ashcraft, M. H., & Krause, J. A. (2007). Working memory, math performance, and math anxiety. *Psychonomic bulletin & review*, 14(2), 243-248.
- Ashcraft, M. H., & Moore, A. M. (2009). Mathematics anxiety and the affective drop in performance. *Journal of Psychoeducational assessment*, 27, 197-205.
- Atkinson, J. W. (1957). Motivational determinants of risk taking behavior. *Psychol. Rev.* 64: 359-372.

B

- Babbitt, W., Lachney, M., Bulley, E., & Eglash, R. (2015). Adinkra mathematics: A study of ethnocomputing in Ghana. *Multidisciplinary Journal of Educational Research*, 5(2), 110-135.
- Bächtold, M. (2012). Les fondements constructivistes de l'enseignement des sciences basé sur l'investigation. *Tréma*.

- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G.A. Bower (Ed.), *Recent advances in learning and motivation* (Vol 8, pp. 647-667). New York : Academic Press.
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556-559.
- Bakker, A., Cai, J., English, L., Kaiser, G., Mesa, V., & Van Dooren, W. (2019). Beyond small, medium, or large: Points of consideration when interpreting effect sizes. *Educational Studies in Mathematics*, 102, 1-8.
- Balacheff, N. (2017). Seymour Papert (1928-2016) Aux sources d'une pensée innovante et engagée. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 37, 383-396.
- Bandura, A. Self-efficacy mechanism in human agency. *American Psychologist*, 1982, 37, 122–147. (a)
- Barrouillet, P., Camos, V., Morlaix, S., & Suchaut, B. (2008). Progressions scolaires, mémoire de travail et origine sociale: quels liens à l'école élémentaire?. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, (162), 5-14.
- Benton, L., Saunders, P., Kalas, I., Hoyles, C., & Noss, R. (2018). Designing for learning mathematics through programming: A case study of pupils engaging with place value. *International journal of child-computer interaction*, 16, 68-76.
- Berger, J. L., & Büchel, F. (2012). Métacognition et croyances motivationnelles: un mariage de raison. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, (179), 95-128.
- Berssanette, J. H., & de Francisco, A. C. (2021). Cognitive Load Theory in the Context of Teaching and Learning Computer Programming: A Systematic Literature Review. *IEEE Transactions on Education*.
- Bihouix, P. (2017). Le mythe de la technologie salvatrice. *Esprit*, (3), 98-106.

- Bissonnette, S., Richard, M., & Gauthier, C. (2005). Interventions pédagogiques efficaces et réussite scolaire des élèves provenant de milieux défavorisés. *Revue française de pédagogie*, 150(1), 87-141
- Bissonnette, S., Richard, M., Gauthier, C., & Bouchard, C. (2010). Quelles sont les stratégies d'enseignement efficaces favorisant les apprentissages fondamentaux auprès des élèves en difficulté de niveau élémentaire ? Résultats d'une méga-analyse. *Revue de recherche appliquée sur l'apprentissage*, 3.
- Bocconi, S., Chiocciariello, A., Dettori, G., Ferrari, A., Engelhardt, K., Kamyli, P., & Punie, Y. (2016). Developing computational thinking in compulsory education. European Commission, JRC Science for Policy Report, 68.
- Bouffard, T., Pansu, P., & Boissicat, N. (2013). Quand se juger meilleur ou moins bon qu'il ne l'est s'avère profitable ou nuisible à l'élève. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, (182), 117-140.
- Bourgeois, É., & Frenay, M. (2006). Les théories de l'apprentissage : un peu d'histoire. *Apprendre et faire apprendre*, 21-36.
- Boylan, M., Demack, S., Wolstenholme, C., Reidy, J., & Reaney, S. (2018). *ScratchMaths: evaluation report and executive summary*. Project Report. Education Endowment Foundation. https://educationendowmentfoundation.org.uk/public/files/Projects/Evaluation_Reports/ScratchMaths.pdf
- Bransford, J. D., Brown, L., & Cocking, R. R. (Eds.) (2000). *How people learn. Brain, mind, experience and school*. Washington D.C.: National Academy Press.
- Bråting, K., & Kilhamn, C. (2021). Exploring the intersection of algebraic and computational thinking. *Mathematical Thinking and Learning*, 23(2), 170-185.

- Bressoux, P. (1994). Les recherches sur les effets-écoles et les effets-maîtres. *Revue française de pédagogie*, 108, 91-137. [https://doi: 10.3406/rfp.1994.1260](https://doi.org/10.3406/rfp.1994.1260)
- Bressoux, P. (1995). Les effets du contexte scolaire sur les acquisitions des élèves : effet-école et effets-classes en lecture. *Revue française de sociologie*, 273-294.
- Bressoux, P. (2001). Réflexions sur l'effet-maître et l'étude des pratiques enseignantes. *Les dossiers des sciences de l'éducation*, 5(1), 35-52.
- Bressoux, P. (2010). *Modélisation statistique appliquée aux sciences sociales*. Louvain-la-Neuve, De Boeck Supérieur. [https://doi: 10.7202/039868ar](https://doi.org/10.7202/039868ar)
- Bressoux, P. (2012). L'influence des pratiques enseignantes sur les acquisitions scolaires des élèves, Regards croisés sur l'économie, 12, 208-217. DOI : 10.3917/rce.012.0208
- Bressoux, P., & Pansu, P. (2003). *Quand les enseignants jugent leurs élèves*. Presses universitaires de France.
- Brophy, J. (1986). Teacher influences on student achievement. *American psychologist*, 41(10), 1069.
- Burroughs, N., Gardner, J., Lee, Y., Guo, S., Touitou, I., Jansen, K., & Schmidt, W. (2019). *Teaching for excellence and equity: Analyzing teacher characteristics, behaviors and student outcomes with TIMSS* (p. 212). Springer Nature.

C

- Calao, L. A., Moreno-León, J., Correa, H. E., & Robles, G. (2015). Developing mathematical thinking with *Scratch*. In *Design for teaching and learning in a networked world* (pp. 17-27). Springer, Cham.

- Carbonneau, K. J., Marley, S. C., & Selig, J. P. (2013). A meta-analysis of the efficacy of teaching mathematics with concrete manipulatives. *Journal of Educational Psychology*, *105*(2), 380.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and instruction*, *8*(4), 293-332.
- Chen, O., Kalyuga, S., & Sweller, J. (2015). The worked example effect, the generation effect, and element interactivity. *Journal of Educational Psychology*, *107*, 689–704.
- Cheng, G. (2019). Exploring factors influencing the acceptance of visual programming environment among boys and girls in primary schools. *Computers in Human Behavior*, *92*, 361-372. [https://doi: 10.1016/j.chb.2018.11.043](https://doi:10.1016/j.chb.2018.11.043)
- Cheung, A. C., & Slavin, R. E. (2013). The effectiveness of educational technology applications for enhancing mathematics achievement in K-12 classrooms: A meta-analysis. *Educational research review*, *9*, 88-113.
- Cheung, A. C., & Slavin, R. E. (2016). *How methodological features affect effect sizes in education*. *Educational Researcher*, *45*, 283-292.
- Clements, D. H. (2000). From exercises and tasks to problems and projects: Unique contributions of computers to innovative mathematics education. *The Journal of Mathematical Behavior*, *19*(1), 9-47. [https://doi:10.1016/S0732-3123\(00\)00036-5](https://doi:10.1016/S0732-3123(00)00036-5)
- Cnesco (2015). Nombres et opérations : premiers apprentissages à l'école primaire. Dossier de synthèse. <http://www.cnesco.fr/fr/numeration/>
- Coleman, J. S. (1966). Equal schools or equal students?. *The Public Interest*, *4*, 70.
- Conrads, J., Rasmussen, M., Winters, N., Geniet, A., Langer, L., (2017). Digital Education Policies in Europe and Beyond: Key Design Principles for More Effective Policies.

Redecker, C., P. Kampylis, M. Bacigalupo, Y. Punie (ed.), EUR 29000 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017, ISBN 978-92-79-77246-7, doi:10.2760/462941, JRC109311

Cook, B. G., Smith, G. J., & Tankersley, M. (2012). Evidence-based practices in education. In *APA educational psychology handbook, Vol 1: Theories, constructs, and critical issues*. (pp. 495-527). American Psychological Association.

Cooper, G., & Sweller, J. (1987). Effects of schema acquisition and rule automation on mathematical problem-solving transfer. *Journal of educational psychology*, 79(4), 347.

Crahay, M. (2006). Dangers, incertitudes et incomplétude de la logique de la compétence en éducation. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, (154), 97-110.

Crahay, M., Dutrévis, M., & Marcoux, G. (2010). L'apprentissage en situation scolaire: un processus multidimensionnel. M. Crahay & M. Dutrévis (Éd.), *Psychologie des apprentissages scolaires*, 11-45.

Crisci, R. (2020). *Etude des conditions de viabilité d'une approche basée sur l'algorithmique et la programmation pour l'apprentissage de la division euclidienne à l'école primaire* (Thèse de doctorat, Université Grenoble Alpes). <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03116813/document>

Cury, F., & Da Fonseca, D. (2001). 4. Approche/évitement et théorie des buts d'accomplissement: données empiriques et avancées conceptuelles. In *Théories de la motivation et pratiques sportives* (pp. 121-142). Presses Universitaires de France.

D

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological inquiry*, 11(4), 227-268.

- Dehaene, S., Pasquinelli, E. (2020). La recherche transactionnelle en éducation pourquoi et comment ? Conseil scientifique de l'éducation nationale. https://www.reseau-canope.fr/fileadmin/user_upload/Projets/conseil_scientifique_education_nationale/Ressources_pedagogiques/La_recherche_translationnelle_en_education.pdf Ebbinghaus, H. (1913).
- Demeuse, M., Crahay, M., Monseur, C. (2005). Efficacité et équité dans les systèmes éducatifs. Les deux faces d'une même pièce ? In M. Demeuse, A. Baye, M.H. Straeten, J. Nicaise, A. Matoul (Ed.). *Vers une école juste et efficace. 26 contributions sur les systèmes d'enseignement et de formation* (pp. 391-410). Bruxelles : De Boeck.
- Desmurget, M. (2019). *La fabrique du crétin digital-Les dangers des écrans pour nos enfants*. Média Diffusion.
- Désert, M., Croizet, J. C., & Leyens, J. P. (2002). La menace du stéréotype: une interaction entre situation et identité. *L'année psychologique*, 102(3), 555-576.
- Dowker, A., Sarkar, A., & Looi, C. Y. (2016). Mathematics anxiety: What have we learned in 60 years?. *Frontiers in psychology*, 7, 508.
- Drot-Delange, B., Pellet, J. P., Delmas-Rigoutsos, Y., & Bruillard, É. (2019). Pensée informatique: points de vue contrastés. *Sticef*, 26.
- Duru-Bellat M. (2002). Les inégalités sociales à l'école. Genèse et mythes. *Paris, Presses universitaires de France*.
- Duval, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. In *Annales de didactique et de sciences cognitives* (Vol. 5, No. 1, pp. 37-65).
- Duval, R. (1999). Representation, Vision and Visualization: Cognitive Functions in Mathematical Thinking. *Basic Issues for Learning*.

Duval, R. (2000). Basic Issues for Research in Mathematics Education.

Duval, R. (2006). A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. *Educational studies in mathematics*, 61(1-2), 103-131.
<https://doi.org/10.1007/s10649-006-0400-z>

Dweck, C. (2015). Carol Dweck revisits the growth mindset. *Education week*, 35(5), 20-24.

Dweck, C. S., & Leggett, E. L. (1988). A social-cognitive approach to motivation and personality. *Psychological review*, 95(2), 256.

E

European Commission. 2019. *Digital Education at School in Europe*. Eurydice Report. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

F

Fayol, M. (2017). La mémoire de travail: une contrainte surmontable pour les apprentissages scolaires?. *ANAE-Approche Neuropsychologique des Apprentissages Chez L'enfant*, (149), 459-466.

Fisher, C., Berliner, D., Filby, N., Marliave, R., Cahen, L., & Dishaw, M. (2015). Teaching behaviors, academic learning time, and student achievement: An overview. *The Journal of Classroom Interaction*, 50(1), 6-24.

Fuchs, L. S., Fuchs, D., Prentice, K., Burch, M., Hamlett, C. L., Owen, R., ... & Jancek, D. (2003). Explicitly teaching for transfer: Effects on third-grade students' mathematical problem solving. *Journal of educational psychology*, 95(2), 293.

G

Galand, B. (2006). La motivation en situation d'apprentissage : les apports de la psychologie de l'éducation. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, (155), 5-8.

- Galand, B. (2020). Le numérique va-t-il révolutionner l'éducation. *Les cahiers du GIRSEF*, 120, 1-19.
- Geary, D. C. (2008). An evolutionarily informed education science. *Educational psychologist*, 43(4), 179-195.
- Grouws, D. A., & Cebulla, K. J. (2000). Chapter V: Elementary and Middle School Mathematics at the Crossroads. *Teachers College Record*, 102(8), 209-255.
- Grover, S., & Pea, R. (2013). Computational Thinking in K–12: A review of the state of the field. *Educational Researcher*, 42(1), 38-43. [https://doi: 10.3102/0013189x12463051](https://doi.org/10.3102/0013189x12463051)
- Guay, F., Chanal, J., Ratelle, C. F., Marsh, H. W., Larose, S., & Boivin, M. (2010). Intrinsic, identified, and controlled types of motivation for school subjects in young elementary school children. *British Journal of Educational Psychology*, 80, 711-735.
- Guzdial, M. (2019). Computing for other disciplines. In S. Fincher & A. Robins (Eds.), *The Cambridge handbook of computing education Research* (pp. 584-605). Cambridge University Press.

H

- Hamre, B. K., Pianta, R. C., Downer, J. T., DeCoster, J., Mashburn, A. J., Jones, S. M., Brown, J. L., Cappella, E., Atkins, M., Rivers, S. E., Brackett, M. A., Hamagami, A. (2013). Teaching through interactions: Testing a developmental framework of teacher effectiveness in over 4,000 classrooms. *The elementary school journal*, 113(4), 461-487.
- Harter, S. (1985). Competence as a dimension of self-evaluation: Toward a comprehensive model of self-worth. In R. L. Leahy (dir.), *The development of the self*. New York: Academic Press, p. 55-121.

- Hattie, J. (2008). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. routledge.
- Hattie, J., Fisher, D., Frey, N., Gojak, L. M., Moore, S. D., & Mellman, W. (2016). *Visible learning for mathematics, grades K-12: What works best to optimize student learning*. Corwin Press.
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of educational research*, 77(1), 81-112.
- Hembree, R. (1990). The nature, effects, and relief of mathematics anxiety. *Journal for Research in Mathematics Education*, 21, 33-46.
- Hickmott, D., Prieto-Rodriguez, E., & Holmes, K. (2017). A Scoping Review of Studies on Computational Thinking in K–12 Mathematics Classrooms. *Digital Experiences in Mathematics Education*, 4(3), 48-69. [https://doi: 10.1007/s40751-017-0038-8](https://doi.org/10.1007/s40751-017-0038-8)
- Hodgen, J., Foster, C., Marks, R., & Brown, M. (2018). Evidence for Review of Mathematics Teaching: Improving Mathematics in Key Stages Two and Three: Evidence Review. London: *Education Endowment Foundation*. The report is available from:<https://educationendowmentfoundation.org.uk/evidence-summaries/evidence-reviews/improving-mathematics-in-key-stages-two-and-three/>
- Houdé, O., & Borst, G. (2014). Measuring inhibitory control in children and adults: brain imaging and mental chronometry. *Frontiers in psychology*, 5, 616.
- Hoyles, C., & Noss, R. (1987). Synthesizing mathematical conceptions and their formalization through the construction of a Logo-based school mathematics curriculum. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 18(4), 581-595. <https://doi.org/10.1080/0020739870180411>

Huang, W., & Looi, C. K. (2021). A critical review of literature on “unplugged” pedagogies in K-12 computer science and computational thinking education. *Computer Science Education, 31*(1), 83-111.

I - J

Jarlégan, A., Piquée, C., Fontanieu, V., Goigoux, R. (2016). Efficacité et équité dans l'enseignement de la lecture : le rôle du contexte classe », *Revue française de pédagogie*. (196), 7-22. <http://journals.openedition.org/rfp/5070> ; DOI : 10.4000/rfp.5070

De Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: Some food for thought. *Instructional science, 38*(2), 105-134.

K

Kalyuga, S. (2007). Expertise reversal effect and its implications for learner-tailored instruction. *Educational psychology review, 19*(4), 509-539.

Kane, T. J., McCaffrey, D. F., Miller, T., & Staiger, D. O. (2013). Have We Identified Effective Teachers? Validating Measures of Effective Teaching Using Random Assignment. Research Paper. MET Project. *Bill & Melinda Gates Foundation*. Repéré à <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED540959.pdf>

Ke, F. (2014). An implementation of design-based learning through creating educational computer games: A case study on mathematics learning during design and computing. *Computers & education, 73*, 26-39.

Kirschner, P. A., & van Merriënboer, J. J. (2013). Do learners really know best? Urban legends in education. *Educational psychologist, 48*(3), 169-183.

- Kirschner, P., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why unguided learning does not work: An analysis of the failure of discovery learning, problem-based learning, experiential learning and inquiry-based learning. *Educational Psychologist, 41*, 75-86.
- Klahr, D., & Carver, S. M. (1988). Cognitive objectives in a LOGO debugging curriculum: Instruction, learning, and transfer. *Cognitive psychology, 20*, 362-404.
- Klahr, D., & Chen, Z. (2011). Finding one's place in transfer space. *Child Development Perspectives, 5*(3), 196-204.
- Kraft, M. A. (2020). Interpreting effect sizes of education interventions. *Educational Researcher, 49*(4), 241-253. <https://doi.org/10.3102/0013189X20912798>
- Kramarski, B., & Zeichner, O. (2001). Using technology to enhance mathematical reasoning: Effects of feedback and self-regulation learning. *Educational Media International, 38*(2-3), 77-82.
- Kyriakides, L., Christoforou, C., & Charalambous, C. Y. (2013). What matters for student learning outcomes: A meta-analysis of studies exploring factors of effective teaching. *Teaching and teacher education, 36*, 143-152.
- L**
- Laros, F. J., & Steenkamp, J. B. E. (2005). Emotions in consumer behavior: a hierarchical approach. *Journal of business Research, 58*(10), 1437-1445.
- Lee, W. C. (1990). *The effectiveness of computer-assisted instruction and computer programming in elementary and secondary mathematics: A meta-analysis* (Doctoral dissertation, University of Massachusetts Amherst). https://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5569&context=dissertations_1

- Leroux, G., Monteil, J. M., & Huguet, P. (2017). Apprentissages scolaires et technologies numériques : une revue critique des méta-analyses. *L'Année psychologique*, 117, 433-465.
- Leroy, N., Bressoux, P., Sarrazin, P., & Trouilloud, D. (2013). Un modèle sociocognitif des apprentissages scolaires: style motivationnel de l'enseignant, soutien perçu des élèves et processus motivationnels. *Revue française de pédagogie*. (182), 71-92.
- Lewis, C. M., & Shah, N. (2012, February). Building upon and enriching grade four mathematics standards with programming curriculum. In *Proceedings of the 43rd ACM technical symposium on Computer Science Education* (pp. 57-62).
- Li, Q., & Ma, X. (2010). A meta-analysis of the effects of computer technology on school students' mathematics learning. *Educational Psychology Review*, 22(3), 215-243.
- Lishinski, A., Yadav, A. (2019). Motivation, Attitudes, and Dispositions. In S. Fincher & A. Robins (Eds.), *The Cambridge handbook of computing education Research* (pp.801-826). Cambridge University Press.
- Livingstone, S. (2012). Critical reflections on the benefits of ICT in education. *Oxford review of education*, 38, 9-24.
- Lortie-Forgues, H., & Inglis, M. (2019). Rigorous large-scale educational RCTs are often uninformative: Should we be concerned? *Educational Researcher*, 48(3), 158-166.
<https://doi.org/10.3102/0013189X19832850>
- Lye, S. Y., & Koh, J. H. L. (2014). Review on teaching and learning of computational thinking through programming: What is next for K-12?. *Computers in Human Behavior*, 41, 51-61.

M

- Maloney, J., Resnick, M., Rusk, N., Silverman, B., & Eastmond, E. (2010). The *Scratch* programming language and environment. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 10(4), 1-15.
- Marquet, K., Combaz, J., & Berthoud, F. (2019). Introduction aux impacts environnementaux du numérique.
- Marsh, H. W., Trautwein, U., Lüdtke, O., Baumert, J., & Köller, O. (2007). The big-fish-little-pond effect: Persistent negative effects of selective high schools on self-concept after graduation. *American Educational Research Journal*, 44(3), 631-669.
- Marsh, H. W., Pekrun, R., Parker, P. D., Murayama, K., Guo, J., Dicke, T., & Arens, A. K. (2019). The murky distinction between self-concept and self-efficacy: Beware of lurking jingle-jangle fallacies. *Journal of educational psychology*, 111(2), 331.
- Mason, R., & Cooper, G. (2013, January). Distractions in programming environments. In *Proceedings of the Fifteenth Australasian Computing Education Conference-Volume 136* (pp. 23-30).
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63(2), 81.
- Ministère de l'Éducation nationale (2016), « TIMSS 2015 mathématiques et sciences, Évaluation internationale des élèves de CM1 », *Les Notes d'information*, Paris, DEPP.
- Ministère de l'Éducation nationale (2019), « L'évolution des performances en calcul des élèves de CM2 à trente ans d'intervalle (1987-2017) », *Les Notes d'information*, Paris, DEPP.
- Mingat, A. (1991). Expliquer la variété des acquisitions au cours préparatoire: les rôles de l'enfant, la famille et l'école. *Revue française de pédagogie*, 47-63.

Mons, N., Tricot, A., Chesné, J. F., & Botton, H. (2020). *Numérique et apprentissages scolaires*: dossier de synthèse (Doctoral dissertation, Centre national d'étude des systèmes scolaires (Cnesco); Conservatoire national des arts et métiers (Cnam)).

Monso, O. (2014). L'effet d'une réduction de la taille des classes sur la réussite scolaire en France: développements récents. *Education & formations*, 85, 47-61.

Moore, A. M., Rudig, N. O., & Ashcraft, M. H. (2015). Affect, motivation, working memory, and mathematics. *The Oxford handbook of numerical cognition*, 933-952.

Moreno-León, J., & Robles, G. (2016). *Code to learn with Scratch? A systematic literature review* [Paper presentation]. 2016 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON) (pp. 150-156), Abu Dhabi, United Arab Emirates.

Muijs, D., Kyriakides, L., Van der Werf, G., Creemers, B., Timperley, H., & Earl, L. (2014). State of the art—teacher effectiveness and professional learning. *School effectiveness and school improvement*, 25(2), 231-256.

N

Nicolai, J. P., & Peragin, L. (2022). LES CERTIFICATS DE SOBRIÉTÉ NUMÉRIQUE COMME INSTRUMENT DE RÉGULATION DE LA POLLUTION NUMÉRIQUE. *Revue de l'OFCE*, 176, 1.

O

OCDE (2015), *PISA 2015, résultats à la loupe*, Éditions OCDE, Paris.

OCDE. (2020), *Regards sur l'éducation 2020 : Les indicateurs de l'OCDE*, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/7adde83a-fr>.

- OECD (2010), "The policy debate about technology in education", in *Are the New Millennium Learners Making the Grade?: Technology Use and Educational Performance in PISA 2006*, OECD Publishing, Paris. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264076044-4-en>
- OECD. (2014). *PISA 2012 results: Creative problem solving: Students' skills in tackling real-life problems (Volume V)*. Pisa: OECD Publishing.
- OECD. (2015). *Students, computers and learning: Making the connection*. OECD. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264239555-en>
- Ouahbi, I., Kaddari, F., Darhmaoui, H., Elachqar, A., & Lahmine, S. (2015). Learning basic programming concepts by creating games with *Scratch* programming environment. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 191, 1479-1482.

P

- Paas, F. G. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: a cognitive-load approach. *Journal of educational psychology*, 84(4), 429.
- Papastergiou, M. (2009). Digital game-based learning in high school computer science education: Impact on educational effectiveness and student motivation. *Computers & education*, 52(1), 1-12.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: children, computers, and powerful ideas*. Basic Book.
- Papert, S. (#1986). Answers to questions from teachers. Dans Gary Strager (dir.) Transcript from a commercial video [<http://dailypapert.com/seymour-papert-on-logo>]
- Papert, S. (1993). The children's machine. *TECHNOLOGY REVIEW-MANCHESTER NH-*, 96, 28-28.
- Papert, S., & Harel, I. (1991). Situating constructionism. *Constructionism*, 36(2), 1-11.

- Perlman, M., Falenchuk, O., Fletcher, B., McMullen, E., Beyene, J., & Shah, P. S. (2016). A systematic review and meta-analysis of a measure of staff/child interaction quality (the classroom assessment scoring system) in early childhood education and care settings and child outcomes. *PloS one*, *11*(12), e0167660.
- Perkins, D. N., & Salomon, G. (1992). Transfer of learning. *International encyclopedia of education*, *2*, 6452-6457.
- Pianta, R. C., La Paro, K. M., & Hamre, B. K. (2008). *Classroom Assessment Scoring System™: Manual K-3*. Paul H Brookes Publishing.
- Piaget, J. (1968). Le point de vue de Piaget. *International Journal of Psychology*, *3*(4), 281-299.
- Piaget, J. (1973). Remarques sur l'éducation mathématique. *Math Ecole*, *12*(58), 1-7.
- Portrait, S., Camos, V., & Barrouillet, P. (2009). L'attention comme mécanisme mémoriel chez l'enfant. *UB Sciences*, *4*, 153-163.
- Pouille, J. (2016). *Perceptions de soi, anxiété et réussite scolaire: l'apprentissage du langage écrit* (Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes (ComUE)).

Q

- Qian, Y., & Lehman, J. (2017). Students' misconceptions and other difficulties in introductory programming: A literature review. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, *18*(1), 1-24.

R

- Resnick, M., Maloney, J., Monroy-Hernández, A., Rusk, N., Eastmond, E., Brennan, K., Millner, A., Rosenbaum, E., Silver, J., Silverman, B., & Kafai, Y. (2009). *Scratch*:

- programming for all. *Communications of the ACM*, 52, 60-67. [https://doi:10.1145/1592761.1592779](https://doi.org/10.1145/1592761.1592779)
- Reynolds, D., & Muijs, D. (1999). The effective teaching of mathematics: A review of research. *School Leadership & Management*, 19(3), 273-288.
- Reynolds, D., Sammons, P., De Fraine, B., Van Damme, J., Townsend, T., Teddlie, C., & Stringfield, S. (2014). Educational effectiveness research (EER): A state-of-the-art review. *School effectiveness and school improvement*, 25(2), 197-230.
- Richard, M. & Bissonnette, S. (2012). Les sciences cognitives et l'enseignement. Dans Gauthier, Clermont et Tardif, Maurice (dir.), *La pédagogie. Théories et pratiques de l'Antiquité à nos jours (3e édition)* (p. 237-255). Montréal : Gaëtan Morin éditeur. ISBN 978-2-89632-069-1.
- Rob, M., & Rob, F. (2018). Dilemma between constructivism and constructionism: Leading to the development of a teaching-learning framework for student engagement and learning. *Journal of International Education in Business*.
- Robins, A. V. (2019). Novice Programmers and Introductory Programming. In S. Fincher & A. Robins (Eds.), *The Cambridge handbook of computing education Research* (pp.327-376). Cambridge University Press. doi:10.1017/9781108654555.013
- Román-González, M., Pérez-González, J. C., & Jiménez-Fernández, C. (2017). Which cognitive abilities underlie computational thinking? Criterion validity of the Computational Thinking Test. *Computers in Human Behavior*, 72, 678-691.
- Romero, M., Lille, B., Viéville, T., Duflot-Kremer, M., de Smet, C., & Belhassein, D. (2018, August). Analyse comparative d'une activité d'apprentissage de la programmation en mode branché et débranché. In *Educode-Conférence internationale sur l'enseignement au numérique et par le numérique*.

Rosenberg, M., Schooler, C., Schoenbach, C., & Rosenberg, F. (1995). Global self-esteem and specific self-esteem: Different concepts, different outcomes. *American sociological review*, 141-156.

Rosenshine, B. (2012). Principles of Instruction: Research-Based Strategies That All Teachers Should Know. *American Educator*, 36, 12.

Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary educational psychology*, 25(1), 54-67

S

Sáez-López, J. M., Román-González, M., & Vázquez-Cano, E. (2016). Visual programming languages integrated across the curriculum in elementary school: A two year case study using “Scratch” in five schools. *Computers & Education*, 97, 129-141.

Salomon, G., & Perkins, D. N. (1989). Rocky roads to transfer: Rethinking mechanism of a neglected phenomenon. *Educational psychologist*, 24, 113-142.

Sarrazin, P., Pelletier, L., Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2011). Nourrir une motivation autonome et des conséquences positives dans différents milieux de vie: les apports de la théorie de l'autodétermination. *Traité de psychologie positive. Bruxelles: De Boeck*, 273-312.

Scheerens, J. (2016). Theories on educational effectiveness and ineffectiveness. In *Educational effectiveness and ineffectiveness* (pp. 259-289). Springer, Dordrecht.

Scherer, R. (2016). Learning from the Past—The Need for Empirical Evidence on the Transfer Effects of Computer Programming Skills. *Frontiers in Psychology*, 7. [https://doi:10.3389/fpsyg.2016.01390](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01390)

- Scherer, R., Siddiq, F., & Sánchez Viveros, B. (2019). The cognitive benefits of learning computer programming: A meta-analysis of transfer effects. *Journal of Educational Psychology, 111*, 764-792. [https://doi: 10.1037/edu0000314](https://doi.org/10.1037/edu0000314)
- Scherer, R., Siddiq, F., & Viveros, B. S. (2020). A meta-analysis of teaching and learning computer programming: Effective instructional approaches and conditions. *Computers in Human Behavior, 109*, 106349.
- Schnotz, W., & Kürschner, C. (2007). A reconsideration of cognitive load theory. *Educational psychology review, 19*(4), 469-508.
- Schunk, D. H. (2012). *Learning theories an educational perspective sixth edition*. Pearson.
- Shute, V. J., Sun, C., & Asbell-Clarke, J. (2017). Demystifying computational thinking. *Educational Research Review, 22*, 142-158. [https://doi: 10.1016/j.edurev.2017.09.003](https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.09.003)
- Slavin, R. E., & Lake, C. (2008). Effective programs in elementary mathematics: A best-evidence synthesis. *Review of Educational Research, 78*(3), 427-515.
- Suchaut, B. (2012, February). L'évaluation des enseignants: contexte, analyse et perspectives d'évolution. In *Conférence sur l'évaluation*.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and instruction, 4*(4), 295-312.
- Sweller, J. (2010). Cognitive load theory: Recent theoretical advances. In J. L. Plass, R. Moreno, & R. Brünken (Eds.), *Cognitive load theory* (pp. 29–47). Cambridge University Press. [https://doi:10.1017/CBO9780511844744.004](https://doi.org/10.1017/CBO9780511844744.004)
- Sweller, J. (2011). Cognitive load theory. *Psychology of learning and motivation 55*, pp. 37-76). Academic Press.

Sweller, J., Van Merriënboer, J. J., & Paas, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational psychology review*, 10(3), 251-296.

Sweller, J., van Merriënboer, J. J., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*, 31(2), 261-292.

T

Talbot, L. (2012). Les recherches sur les pratiques enseignantes efficaces. Synthèse, limites et perspectives. *Questions vives. Recherches en éducation*, 6(18), 129-140.

Tamim, R. M., Bernard, R. M., Borokhovski, E., Abrami, P. C., & Schmid, R. F. (2011). What forty years of research says about the impact of technology on learning: A second-order meta-analysis and validation study. *Review of Educational research*, 81(1), 4-28.

Tang, K.-Y., Chou, T.-L., & Tsai, C.-C. (2019). A Content Analysis of Computational Thinking Research: An International Publication Trends and Research Typology. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 29, 9-19. [https://doi: 10.1007/s40299-019-00442-8](https://doi.org/10.1007/s40299-019-00442-8)

Tchounikine, P. (2017). Initier les élèves à la pensée informatique et à la programmation avec Scratch. Consulté à l'adresse [http://lig-membres. imag. fr/tchounikine/PenseeInformatiqueEcole. html](http://lig-membres.imag.fr/tchounikine/PenseeInformatiqueEcole.html).

Thorndike, E. L. (1923). The Influence of First-Year Latin Upon Ability to Read English. *School & Society*.

Ting, S. E. (2005). The impact of ICT on learning: A review of research. *International Educational Journal*, (5), 635-650).

Toczek, M. C. (2009). *Les situations d'enseignement : un programme de recherches centré sur l'analyse des déterminants et des impacts* (Doctoral dissertation, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II).

Tricot, A., & Sweller, J. (2014). Domain-specific knowledge and why teaching generic skills does not work. *Educational psychology review*, 26(2), 265-283.

Tricot, A. (2020). *Quelles fonctions pédagogiques bénéficient des apports du numérique ?* Paris: Cnesco

Tsai, C. Y. (2019). Improving students' understanding of basic programming concepts through visual programming language: The role of self-efficacy. *Computers in Human Behavior*, 95, 224-232.

Turner, J. C., Midgley, C., Meyer, D. K., Gheen, M., Anderman, E. M., Kang, Y., & Patrick, H. (2002). The classroom environment and students' reports of avoidance strategies in mathematics: A multimethod study. *Journal of educational psychology*, 94(1), 88.

U - V

Vause, A., Dupriez, V., & Dumay, X. (2010). L'efficacité différenciée des pratiques pédagogiques sur les performances en mathématiques des élèves de sixième primaire en Belgique francophone. *Canadian Journal of Behavioural Science/Revue canadienne des sciences du comportement*, 42(4), 234.

Veen, W. (2007). Homo zappiens and the need for new education systems. In *CERI-new millennium learners-meetings and conferences, Italy-OECD seminar on digital natives and education, Florence, Italy*.

Viau, R. (1995). L'état des recherches sur l'anxiété en contexte scolaire. *Cahiers de la recherche en éducation*, 2(2), 375-398.

Viau, R. (2009). *La motivation en contexte scolaire*. (2e éd.). Bruxelles: De Boeck.

Voogt, J., Fisser, P., Good, J., Mishra, P., & Yadav, A. (2015). Computational thinking in compulsory education: Towards an agenda for research and practice. *Education and Information Technologies*, 20(4), 715-728. <https://doi.org/10.1007/s10639-015-9412-6>

de Vries, E. (2001). Les logiciels d'apprentissage : panoplie ou éventail ? *Revue Française de Pédagogie*, 137, 105-116.

W

Weiner, B. (1985). An attributional theory of achievement motivation and emotion. *Psychological review*, 92(4), 548.

Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M., Orton, K., Jona, K., Trouille, L., & Wilensky, U. (2016). Defining computational thinking for mathematics and science classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 25(1), 127-147.

Weintrop, D., & Wilensky, U. (2015, August). Using commutative assessments to compare conceptual understanding in blocks-based and text-based programs. In Proceedings of the eleventh annual international conference on international computing education research (pp. 101-110).

Weintrop, D., & Wilensky, U. (2017). Comparing block-based and text-based programming in high school computer science classrooms. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 18(1), 1-25.

Willingham, D. T. (2007). Critical thinking: Why it is so hard to teach?. *American federation of teachers summer 2007*, p. 8-19.

Wing, J. (2006). Computational Thinking. *Communications of the ACM*, 49, 33-36.

Wing, J. (2011). Research notebook: Computational thinking—What and why? *The Link Magazine*. Carnegie Mellon University, Pittsburgh. Retrieved from <http://link.cs.cmu.edu/article.php?a=600>

Wing, J. M., & Stanzione, D. (2016). Progress in computational thinking, and expanding the HPC community. *Communications of the ACM*, 59(7), 10-11. [https://doi:10.1145/2933410](https://doi.org/10.1145/2933410)

X – Y - Z

Zavala, L. A., Gallardo, S. C. H., & García-Ruíz, M. Á. (2013, June). Designing interactive activities within *Scratch* 2.0 for improving abilities to identify numerical sequences. In *Proceedings of the 12th International Conference on Interaction Design and Children* (pp. 423-426).

Zhang, L., & Nouri, J. (2019). A systematic review of learning computational thinking through *Scratch* in K-9. *Computers & Education*, 141, 103607.

Liste des tableaux

Tableau 1. Liens entre les variables constellation d'approche et d'évitement vis-à-vis des apprentissages en mathématiques	103
Tableau 2. Description des participants	116
Tableau 3. Descriptif des séances de la séquence « division euclidienne »	122
Tableau 4. Description de la collecte de données brutes	134
Tableau 5. Cours universitaire des enseignants.....	140
Tableau 6. Perception d'aisance avec les mathématiques selon la formation.	141
Tableau 7. Perception d'aisance avec l'informatique selon la formation.	141
Tableau 8. Statistiques descriptives pour la division euclidienne.....	152
Tableau 9. Statistiques descriptives pour la décomposition additive.	153
Tableau 10. Statistiques descriptives pour les fractions.	154
Tableau 11. Corrélations entre les variables de performances de chaque modèle.....	155
Tableau 12. Modèles multiniveaux expliquant les performances des trois notions.	156
Tableau 13. Régressions linéaires expliquant les prétests des trois notions	145
Tableau 14. Description des erreurs aléatoires de niveau 2 des trois séquences.	159
Tableau 15. Pourcentage de classes par niveau de progression par groupe d'intervention. ...	160
Tableau 16. Statistiques descriptives pour les modèles conatifs.	175
Tableau 17. Corrélations entre les variables conatives.....	176
Tableau 18. Modèles vides expliquant les variables conatives en T9.	176
Tableau 19. Modèles multiniveaux expliquant les variables conatives en T9.....	177
Tableau 20. Régressions linéaires expliquant les prétests des cinq variables conatives	146
Tableau 21. Qualité perçue des séquences conduites	192
Tableau 22. Qualité perçue des séquences après dichotomisation de la variable.....	193
Tableau 23. Evaluation phase d'explicitation du transfert.....	199

Liste des figures

Figure 1. L'environnement de programmation <i>Scratch</i> et ses trois principaux espaces.	51
Figure 2. Une boucle programmée avec <i>Scratch</i> (gauche) et avec <i>Logo</i> (droite).....	52
Figure 3. Les blocs codes de gauche rendent la combinaison de droite possible.	52
Figure 4. Graphique des publications sur la « Pensée informatique » (2006-2018) et nombre d'articles de revues de Tang <i>et al.</i> (2019).....	54
Figure 5. Modèle du transfert tridimensionnel de Klahr et Chen (2011).....	77
Figure 6. Organisation hiérarchique des perceptions de soi (Harter, 1985).	95
Figure 7. Design de l'expérimentation. Temps de mesures et phases de travail en classe.....	118
Figure 8. Exemple de visuel affiché dans l'espace d'exécution en support aux activités de la séance 2.	125
Figure 9. Exemple de traduction de la programmation vers l'écriture symbolique mathématique pour la division euclidienne.	126
Figure 10. Exemple des espaces de l'écran de programmation pour la séquence décomposition additive.....	129
Figure 11. Exemple de traduction de la programmation vers l'écriture symbolique mathématique pour la décomposition additive.	130
Figure 12. Exemple des espaces de l'écran de programmation pour la séquence des fractions.	132
Figure 13. Exemple de traduction de la programmation vers l'écriture symbolique mathématique pour la décomposition additive.	133
Figure 14. Prétest et post-test pour la division euclidienne pour le groupe contrôle (n=760) et le groupe programmation (n=1120).	150
Figure 15. Prétest et post-test pour la décomposition additive pour le groupe contrôle (n=755) et le groupe programmation (n=1008).	151
Figure 16. Prétest et post-test pour les fractions pour le groupe contrôle (n=235) et le groupe programmation (n=409).	151
Figure 17. Diagramme en boîte à moustache des erreurs aléatoires de niveau 2 par groupe d'intervention pour la séquence division euclidienne.	161
Figure 18. Diagramme en boîte à moustache des erreurs aléatoires de niveau 2 par groupe d'intervention pour la séquence décomposition additive.	162

Figure 19. Diagramme en boîte à moustache des erreurs aléatoires de niveau 2 par groupe d'intervention pour la séquence des fractions.	162
Figure 20. Prétest et post-test pour la motivation contrôlée en mathématiques, pour le groupe contrôle et le groupe programmation.	170
Figure 21. Prétest et post-test pour la motivation identifiée en mathématiques, pour le groupe contrôle et le groupe programmation.	171
Figure 22. Prétest et post-test pour la motivation intrinsèque en mathématiques, pour le groupe contrôle (n=690) et le groupe programmation (n=1050).	172
Figure 23. Prétest et post-test pour le sentiment de compétence en mathématiques, pour le groupe contrôle et le groupe programmation.	173
Figure 24. Prétest et post-test pour l'anxiété en mathématiques, pour le groupe contrôle et le groupe programmation.	174
Figure 25. Pourcentage des réponses sur la maîtrise des principes didactiques en T1.	188
Figure 26. Pourcentage des réponses sur la maîtrise de la séquence division euclidienne.	188
Figure 27. Pourcentage des réponses sur la maîtrise de la séquence décomposition additive.	189
Figure 28. Pourcentage des réponses sur la maîtrise de la séquence fractions.	189
Figure 29. Pourcentage des réponses sur la maîtrise de Scratch (groupe programmation uniquement, n=59).	190
Figure 30. Pourcentage des réponses sur l'attention des élèves.	195
Figure 31. Pourcentage des réponses sur la concentration des élèves.	195
Figure 32. Pourcentage des réponses sur la motivation des élèves.	196
Figure 33. Pourcentage des réponses sur la rapidité des élèves.	197
Figure 34. Pourcentage des réponses sur l'efficacité des élèves.	197

Table des matières complète

Introduction contextualisée	8
Partie théorique.....	15
Chapitre I - Evaluer l'efficacité d'un dispositif numérique d'apprentissage.....	16
1. Evaluation de l'efficacité des pratiques dans l'enseignement	16
A. Des effets imbriqués	16
Définition	16
Poids du contexte	17
L'effet-enseignant	17
B. Pratiques d'enseignement efficaces sans distinction de discipline	19
Les rétroactions	19
Les approches explicites guidées	21
Les opportunités d'apprendre.....	22
2. Pratiques d'enseignement efficaces en mathématiques	22
A. Outils au service des mathématiques.....	23
Les représentations.....	23
La manipulation	24
La découverte par résolution de problèmes	25
Les outils numériques	26
B. Des gestes d'enseignements qui ne sont pas spécifiques aux mathématiques .	27
Des effets d'ampleur plus importante	27
Confirmation des résultats généraux	28
3. Pratiques numériques... de quoi parle-t-on ?.....	29
A. Eléments de contextualisation	29
B. Effets des pratiques numériques.....	31
Des effets globalement positifs masquant une grande variabilité.....	31
Des biais méthodologiques	34
Des modérateurs liés aux caractéristiques méthodologiques	35
Des modérateurs liés aux caractéristiques de l'échantillon	37
4. Que retenir ?.....	38

Chapitre II - La pensée informatique, un outil numérique comme vecteur d'apprentissage des mathématiques à l'école primaire.....40

1. Exploiter la pensée informatique par la programmation, un outil numérique spécifique.....	40
2. Les débuts de la programmation à l'école et ses effets sur les mathématiques avant 2006.	41
A. L'avènement du constructionnisme dans les années 1970.....	42
D'abord le constructivisme	42
Puis le constructionnisme, inspiré du constructivisme	44
B. Les études <i>ante</i> langages visuels à partir des années 1970	46
3. Depuis 2006, une ruée internationale au déploiement de la pensée informatique dans les programmes scolaires	47
A. Des compétences numériques pour agir dans une société ultra numérisée.....	47
B. Avec les langages visuels, la programmation fait peau neuve et se popularise, le cas de <i>Scratch</i>	49
C. Les études depuis les langages visuels à partir de 2006.....	53
La revue de Moreno-León et Robles (2016).....	55
La revue de Hickmott Prieto-Rodriguez & Holmes (2017).....	56
L'étude d'ampleur <i>ScratchMaths</i> (2018).....	58
Pour conclure	59
4. Que retenir ?.....	59

Chapitre III - Apprendre les mathématiques en programmant : les questions de la mémoire de travail et du transfert d'apprentissage.....61

1. La mémoire, élément clé de l'apprentissage.....	61
A. Apports de la théorie de la charge cognitive pour éclairer le rôle de la mémoire de travail dans les apprentissages	63
Trois catégories de charges cognitives.....	63
Schémas et automatismes, construction de l'apprentissage en mémoire à long terme	66
Effets d'instruction sur les apprentissages	67
Critiques et limites de la théorie de la charge cognitive	69
B. Effet des langages visuels de programmation sur la mémoire de travail	72
La programmation, une activité cognitivement couteuse.	72
Réduire la charge cognitive liée à la programmation par des composants visuels.	74
Des environnements de programmation attrayants... mais potentiellement distrayants.....	74
2. Le transfert d'apprentissage	75
A. Définition	75
Distance : proche ou lointain	76
Mécanismes : conscient ou automatique.....	77

B.	Des attentes en termes de compétences générales.....	79
C.	Que sait-on des « connaissances » générales ?	82
D.	Les conditions favorables au transfert d'apprentissage.....	84
3.	Structure profonde, conversion de registres et transfert, trois approches qui présentent de nombreux recouvrements	85
A.	Structures profonde des situations problèmes	85
B.	La conversion de registres pour une connaissance profonde	87
C.	Points de convergence entre transfert d'apprentissage, reconnaissance de la structure profonde et conversion de registres	88
4.	Que retenir ?.....	89

Chapitre IV - Motivation, sentiment de compétence et anxiété : freins et leviers conatifs aux apprentissages91

1.	Trois construits conatifs en lien avec la réussite scolaire	91
A.	La motivation autodéterminée.....	91
	Eléments de définition	91
	Antécédents et conséquences de la motivation autodéterminée	93
B.	Le sentiment de compétence	94
	Eléments de définition	94
	Antécédents et conséquences du sentiment de compétence.....	96
C.	L'Anxiété mathématique.....	97
	Eléments de définition	97
	Mécanique de l'anxiété mathématique : la mémoire (de travail) qui flanche.....	98
	Antécédents et conséquences de l'anxiété en mathématiques	99
2.	Motivation, sentiment de compétence, anxiété : des facteurs qui agissent en constellation.....	101
A.	Des antécédents communs : droit à l'erreur et théories implicites de l'intelligence	101
B.	Constellations d'approche et d'évitement des apprentissages	103
3.	Que sait-on des effets du numérique sur la conation ?	105
A.	Effets du numérique sur les variables conatives : entre croyances et preuves. 105	
B.	Arguments en faveur d'effets positifs de la programmation visuelle sur les variables conatives.....	106
C.	Des rétroactions qui autorisent l'erreur sans la rendre visible	109
4.	Que retenir ?.....	109

Problématique générale et hypothèses de travail 111

1.	Problématique de recherche	111
2.	Hypothèses de travail	113
A.	Hypothèses relatives à la cognition	113
B.	Hypothèses relatives à la conation	113

Partie expérimentale - Une étude empirique randomisée utilisant les activités de programmation comme véhicule d'apprentissage des mathématiques en CM1 et CM2 114

Chapitre I - Méthodologie115

1.	Participants.....	115
2.	Procédure	116
3.	Conception des activités.....	118
A.	Principes généraux	118
	Notions traitées	119
	Conception des séances.....	119
	Des binômes de travail dans les deux groupes.....	120
	Phase d'explicitation du transfert dans le groupe programmation.....	120
	Découpage des séquences	121
B.	Exemple de la séquence « division euclidienne »	121
	Les plans de séquence : des objectifs communs aux deux groupes, des chemins différents	121
	Focus sur une activité de la séance 2, différenciée selon le groupe.....	123
	Institutionnalisation / décontextualisation commune aux deux groupes	127
	En résumé.....	128
C.	Suppléments d'information : séquences de décomposition additive et de fractions.	128
	Décomposition additive	128
	Fractions.....	131
4.	Mesures	134
A.	Informations délivrées par les écoles (T1)	136
B.	Questionnaires élèves (T1 et T9)	137
C.	Questionnaires enseignants (T1)	139
D.	Questionnaires enseignants (T9)	142
E.	Scores d'acquisition en mathématiques	143
	Test initial (T1)	143
	Pré et post-tests (T2, T3, T4, T5, T6, T7).....	143
	Test final (T8)	144
5.	Assignation aléatoire.....	144
6.	Homogénéité des groupes avant intervention	145
A.	Modèles sur les acquisitions mathématiques	145
B.	Modèles conatifs	146

Chapitre II – Efficacité des activités mathématiques utilisant la programmation visuelle sur les apprentissages mathématiques.....148

1.	Analyses des données.....	148
A.	Variables contrôles de niveau 1 (élèves).....	149
B.	Variables contrôles de niveau 2 (classes).....	149
C.	Description des échantillons.....	149
2.	Analyses descriptives et corrélationnelles	150
3.	Analyses des modèles multiniveaux	155
A.	Variance expliquée	156
B.	Effets des variables de contrôle de niveau 1	157
C.	Effets des variables de contrôle de niveau 2	157
D.	Effet de l'expérimentation	157
E.	Interactions avec l'expérimentation	158
4.	Analyse des erreurs aléatoires de niveau 2	158
5.	Discussion	163

Chapitre III - Effets des activités de programmation en mathématiques sur la conation mathématique168

1.	Analyses des données.....	168
A.	Variables contrôles de niveau 1 (élèves).....	169
B.	Variables contrôles de niveau 2 (classes).....	169
C.	Description de l'échantillon	169
D.	Analyse descriptives et corrélationnelles	170
2.	Analyses des modèles multiniveaux des variables conatives	176
A.	Variance expliquée	178
B.	Effet des variables contrôle de niveau 1	179
C.	Effets des variables contrôle de niveau 2	180
D.	Effet de l'expérimentation.....	180
E.	Interaction avec l'expérimentation.....	181
3.	Discussion	181

Chapitre IV – Eléments d’éclairage liés à l’implantation du dispositif	185
1. Eléments relatifs aux enseignants	185
A. Participation des enseignants au dispositif.....	186
B. Perception de qualité de la formation en T1.....	186
C. Evaluation du dispositif en T9	190
Qualité des séquences	191
Comportement des élèves	194
Mise en œuvre dans le groupe expérimental.....	198
2. Eléments propres au design du dispositif.....	200
A. Calibrage des séquences	200
B. Le matériel.....	200
3. Synthèse sur l’implantation du dispositif.....	201
Chapitre V - Limites et perspectives de recherche	203
1. Limites et perspectives propres aux modèles sur les acquisitions	203
2. Limites et recherches futures propres aux modèles conatifs.....	206
Chapitre VI - Conclusion générale	208
1. Une recherche fondée sur les données probantes.....	209
2. Efficacité des activités mathématiques utilisant la programmation visuelle sur les apprentissages mathématiques.....	210
3. L’interprétation des tailles d’effet, une caractérisation sensible à la méthodologie	211
4. Effets des activités de programmation en mathématiques sur la conation mathématique	213
Références.....	215
Liste des tableaux.....	239
Liste des figures	240
Table des matières complète.....	242
Annexes.....	248

Annexes

Annexe 1 : Matériel enseignants groupe contrôle pour la division euclidienne.	250
Annexe 2 : Matériel élèves groupe contrôle pour la division euclidienne.....	255
Annexe 3 : Matériel enseignants groupe programmation pour la division euclidienne.	257
Annexe 4 : Matériel élèves groupe programmation pour la division euclidienne.	266
Annexe 5 : Matériel enseignants groupe contrôle pour la décomposition additive.	270
Annexe 6 : Matériel élèves groupe contrôle pour la décomposition additive.....	278
Annexe 7 : Matériel enseignants groupe programmation pour la décomposition additive. ..	283
Annexe 8 : Matériel élèves groupe programmation pour la décomposition additive.	291
Annexe 9 : Matériel enseignants groupe contrôle pour les fractions.	296
Annexe 10 : Matériel élèves groupe contrôle pour les fractions.	307
Annexe 11 : Matériel enseignants groupe programmation pour les fractions.	321
Annexe 12 : Matériel élèves groupe programmation pour les fractions.	332
Annexe 13 : Questionnaire élèves administré avant le travail en classe (T1).	346
Annexe 14 : Questionnaire enseignant administré en ligne, avant le travail en classe (T1)..	349
Annexe 15 : Consignes de passation et test initial de mathématiques (T1).....	364
Annexe 16 : Prétest, séance division euclidienne (T2)	373
Annexe 17 : Posttest, séance division euclidienne (T3)	376
Annexe 18 : Prétest, séance décomposition additive (T4).....	379
Annexe 19 : Post-test, séance décomposition additive (T5)	382
Annexe 20 : Prétest, séance fractions (T6)	385
Annexe 21 : Post-test, séance fractions (T7)	389
Annexe 22 : Test de mathématiques pour le score final (T8).....	393
Annexe 23 : Questionnaire élèves administré après le travail en classe (T9).....	395
Annexe 24 : Questionnaire enseignants administré en ligne, après le travail en classe (T9).	399
Annexe 25 : Analyses en composante principale des <i>items</i> de la motivation en T1 et T9	405
Annexe 26 : Scree plot des <i>items</i> de la motivation en T1 et T9.....	406
Annexe 27 : Les quatre modèles de spécification pour évaluer l'effet de la programmation sur la division euclidienne.	407
Annexe 28 : Les quatre modèles spécification pour évaluer l'effet de la programmation sur la décomposition additive.	408

Annexe 29 : Les quatre modèles de spécification pour évaluer l'effet de la programmation sur les fractions.	409
Annexe 30. Description de l'attrition des modèles cognitifs.	410
Annexe 31 : Estimations et significativité des interactions pour les modèles cognitifs.	411
Annexe 32 : Les quatre modèles de spécification pour évaluer l'effet de la programmation sur la régulation intrinsèque de la motivation autodéterminée en mathématiques	413
Annexe 33 : Les quatre modèles de spécification pour évaluer l'effet de la programmation sur la régulation identifiée de la motivation autodéterminée en mathématiques.....	414
Annexe 34 : Les quatre modèles de spécification pour évaluer l'effet de la programmation sur la régulation contrôlée de la motivation autodéterminée en mathématiques	415
Annexe 35 : Les quatre modèles de spécification pour évaluer l'effet de la programmation sur le sentiment de compétence en mathématiques	416
Annexe 36 : Les quatre modèles de spécification pour évaluer l'effet de la programmation sur l'anxiété en mathématiques.....	417
Annexe 37. Description de l'attrition des modèles conatifs.	418
Annexe 38. Récapitulatif de la participation des enseignants.....	419
Annexe 39. Réponses des enseignants à propos de la qualité de la formation Expire (T1). .	423
Annexe 39. Réponses des enseignants à propos du comportement des élèves pendant les séquences (T9).	424

Annexe 1 : Matériel enseignants groupe contrôle pour la division euclidienne.

Séquence 1 : Division euclidienne

Classe : CM1

Objectifs de la séquence : Travailler le sens de la division euclidienne à partir de la recherche de nombre de parts dans une situation de partage équitable.

- Trouver le nombre de parts dans une situation de partage équitable.
- Comprendre la signification du quotient et du reste.
- Comprendre l'écriture de la division euclidienne

Cette séquence est construite à partir de Cap Maths CM1.

Idee générale : Il s'agit de découper un ruban de longueur donnée en un nombre de parts de même longueur.

Considérations didactiques : La notion de division euclidienne est difficile car le résultat de l'opération est composé de deux nombres, quotient et reste, dont il faut donner du sens.

Prérequis : Partage, Multiples, Diviseurs

Nombre de séances envisagées : 3 séances.

Rappels :

- Les élèves travaillent en binômes, sauf pour la séance 3 (résolution de problèmes) où les élèves travaillent individuellement.
- Les exercices qui présentent la notation $a \div b$, $a \div c$, ... (où # est un nombre) sont optionnels. Ils ont été pensés pour les binômes qui avancent plus vite.
- Nous avons indiqué l'exercice à partir duquel on peut faire le bilan.
- Les élèves peuvent utiliser d'autres feuilles comme espace de travail complémentaire à la fiche élève.
- Les tableaux de synthèse fournis sont donnés à titre indicatif. Vous pouvez les enrichir et les adapter.
- Dans les tableaux « déroulement de séance » vous avez une colonne « durée » pour votre organisation personnelle.
- Le découpage du contenu par séance ainsi que la durée de la séance peuvent être adaptés aux spécificités de la classe. Cependant il faut respecter la durée totale qui est l'équivalent de 3 séances de 50 minutes.

Descriptif de la séquence

Séance	Objectif(s) spécifique(s)	Description
Pré-test		Le pré-test est à faire avant les séances. Il prend environ 20 minutes. Il est dans le fichier « Pre-test Division euclidienne ».
1	Problème de partage avec reste Institutionnalisation	Résoudre un problème de recherche du nombre de parts dans un partage équitable. Il s'agit de découper un ruban en plusieurs morceaux de même longueur avec des restes. Division euclidienne
2	Déterminer le quotient et le reste. Travailler l'écriture de la division euclidienne	Le quotient et le reste doivent être explicités
3	Résolution de problème	Cette séance peut servir d'ajustement pour terminer le travail de la séance 2 si besoin.
Post-test		Le post-test est à faire après les séances. Il prend environ 20 minutes. Il est dans le fichier « Post-test Division euclidienne ».

1. Description de la situation

Il faut découper des morceaux de 6 cm. Pour cela, nous disposons de 3 grands rubans de différentes longueurs : la 1^{ère} mesure 75 cm, la 2^{ème} mesure 123 cm et la 3^{ème} mesure 150 cm.

Combien de rubans de 6 cm peux-tu découper dans chaque ruban ?

Quelle longueur de papier reste-t-il à la fin de chaque découpage ?

Matériel

- Situation écrite au tableau avec une représentation schématique d'un morceau de 6 cm et des 3 rubans.
- bandes de 75 cm
- bandes de 123 cm
- bandes de 150 cm

2. Déroulement de la séance 1

<i>Durée</i>	<i>Etapas</i>	<i>Activités de l'enseignant / consignes</i>
	Utilisation de la bande mesurant 75 cm	Cette étape permet l'appropriation de la situation. Distribution de la première page de la fiche élève 1-1. Lecture collective et compréhension de la situation du départ. Recherche par groupes de deux. Le matériel est utilisé comme support de raisonnement et de résolution, mais aussi comme moyen d'invalidation de leur résultat et comme support de raisonnement et de résolution.
	Bilan	- Relever les différents résultats et les différentes procédures. - Valider collectivement par la manipulation au tableau. - Faire le parallèle entre la manipulation et l'écriture mathématique de la procédure. - Verbaliser la réponse : nous obtenons 12 fois le ruban de 6 cm et il nous reste 3 cm. - Introduire l'écriture de la division euclidienne : $(12 \times 6) + 3$ - Introduire le terme « diviser » : partager la bande de 75 cm en rubans de 6 cm c'est diviser 75 par 6. -Vocabulaire : le quotient, le diviseur et le reste. Partager une bande de 75 cm en rubans de 6 cm : c'est diviser 75 par 6 $75 = (12 \times 6) + 3$ 6 : le diviseur 12 : le quotient (résultat) 3 : le reste
	Utilisation des bandes mesurant 123 cm et 150cm	Cette étape est un réinvestissement. Distribution de la deuxième page de la fiche élève 1-1. Lecture collective et compréhension de la situation. Recherche par groupes de deux.
	Bilan	- Relever les différents résultats et les différentes procédures. - Revenir sur le sens du quotient et du reste.

1. Description de la situation

Les binômes font des exercices sur la division euclidienne.

Les exercices de cette séance sont inspirés par Cap maths CMI (2010).

Exercice 1

- Combien de rubans de 50 cm peut-on découper dans une bande de 270 cm ?
- Quelle longueur de tissu reste-t-il ?

Consigne (Ex 2 à 6c) :

Réponds aux questions suivantes.

Exercice 2 : Combien de fois 2 dans 11 ?

Exercice 3 : Combien de fois 4 dans 38 ?

Exercice 5 : Combien de fois 6 dans 33 ?

Exercice 4 : Combien de fois 3 dans 77 ?

Exercice 5 : Combien de fois 7 dans 95 ?

Exercice 6a : Combien de fois 8 dans 118 ?

***Exercice 6b :** Combien de fois 6 dans 123 ?

***Exercice 6c :** Combien de fois 11 dans 138 ?

Consigne (Ex 7 à 10b) :

Dans chacun des cas suivants, trouve le quotient et le reste. Vérifie ta réponse en effectuant le calcul avec parenthèses.

Exercice 7 : Combien de fois 7 dans 97 ?

Exercice 8 : Combien de fois 5 dans 145 ?

Exercice 9 : Combien de fois 12 dans 135 ?

Exercice 10a : Combien de fois 10 dans 144 ?

***Exercice 10b :** Combien de fois 9 dans 150 ?

Exercice 11

Géomette avance son pion sur une ligne graduée de 1 en 1. Elle part de 0 et avance de 8 en 8. Elle vient de faire 25 sauts. Sur quel nombre se trouve son pion ?

Exercice 12

Géomette rejoue sur la même ligne graduée. À nouveau, elle part de 0 et avance son pion de 8 en 8. Elle décide de s'arrêter avant 150, mais le plus près possible de 150.

- Combien doit-elle faire de sauts avec son pion ?
- Sur quel nombre sera alors son pion ?

2. Déroulement de la séance 2

<i>Durée</i>	<i>Étapes</i>	<i>Activités de l'enseignant / consignes</i>
	Exercice 1	Le but de ce premier exercice est de réinvestir les connaissances mobilisées pendant la séance 1. - Distribution de la fiche élève 1-2. - Présenter la consigne.
	Bilan	- Verbaliser la réponse : nous obtenons 5 fois le ruban de 50 cm et il nous reste 20 cm. - Ecrire la réponse sous forme de division euclidienne. - Insister sur le vocabulaire : le quotient, le diviseur et le reste.
	Exercice 2 à 6c	Circuler et accompagner les élèves en difficulté.
	Bilan	Le bilan peut se faire dès l' <u>exercice 6a</u> . Corriger collectivement les exercices au tableau en utilisant l'écriture de la division euclidienne.
	Exercice 7 à 10b	Circuler et accompagner les élèves en difficulté.
	Bilan	Le bilan peut se faire dès l' <u>exercice 10a</u> . Corriger collectivement les exercices au tableau en utilisant l'écriture de la division euclidienne.
	Exercice 11 à 12	Circuler et accompagner les élèves en difficulté.
	Bilan et institutionnalisation	Correction collective en insistant sur le vocabulaire et sur l'écriture. Institutionnalisation de la division euclidienne.

Séance 3 - Résolution de problèmes

Le but de cette séance est de réinvestir individuellement les connaissances sur la division euclidienne pour la résolution de problème.

Chaque professeur décidera de la gestion de la séance (rappels, retour sur des bilans et synthèses...) en fonction des besoins.

Il n'est pas nécessaire de traiter tous les problèmes si le temps ne le permet pas.

Pour cette séance il n'y a pas de fiche élève spécifique. Les élèves peuvent travailler sur leur cahier, ou sur une fiche préparée par vous-même.

Problème 1

Sandra a 71 œufs.

Elle veut les ranger dans des boîtes. Une boîte pleine contient 6 œufs.

De combien de boîtes a-t-elle besoin ?

Problème 2

On souhaite ranger 78 livres dans des boîtes.

Chaque boîte peut contenir 5 livres.

De combien de boîtes a-t-on besoin ?

Les boîtes seront-elles toutes pleines ?

Problème 3

97 élèves participent à une manifestation sportive.

On souhaite constituer 20 équipes ayant le même nombre de joueurs et le plus d'élèves possible. Combien y a-t-il d'élèves par équipe ?

Tous les élèves font-ils partie des équipes constituées ? Justifie ta réponse.

Problème 4

Julien remplit des boîtes de 6 œufs. Il a pu remplir 15 boîtes mais il lui reste trois places vides.

Combien d'œufs a-t-il rangés ?

Annexe 2 : Matériel élèves groupe contrôle pour la division euclidienne

Prénoms :

CM1 - Fiche élève 1-1

Situation 1

Il faut découper des rubans de 6 cm. Pour cela, nous disposons d'une bande qui mesure 75 cm.
Combien de rubans de 6 cm pouvez-vous découper dans cette bande ?
Quelle longueur de papier reste-t-il à la fin du découpage ?

Recherche 1



Réponse 1



Situation 2

Il faut découper des rubans de 6 cm. Pour cela, nous disposons d'une bande qui mesure 123 cm.
Combien de rubans de 6 cm pouvez-vous découper dans cette bande ?
Quelle longueur de papier reste-t-il à la fin du découpage ?

Recherche :**Réponse :**

On obtient.....fois le ruban de 6 cm et il restecm de papier.

Situation 3

Il faut découper des rubans de 6 cm. Pour cela, nous disposons d'une bande qui mesure 150 cm.
Combien de rubans de 6 cm pouvez-vous découper dans cette bande ?
Quelle longueur de papier reste-t-il à la fin du découpage ?

Recherche :**Réponse :**

On obtient.....fois le ruban de 6 cm et il restecm de papier.

Annexe 3 : Matériel enseignants groupe programmation pour la division euclidienne.

Note : les contenus des séquences étaient identiques pour les CM1 et CM2.

Séquence 1 : Division euclidienne

Classe : CM1

Objectifs de la séquence : Travailler le sens de la division euclidienne à partir d'une situation de déplacement sur une bande numérique.

- Comprendre la signification du quotient et du reste.
- Comprendre l'écriture de la division euclidienne.

Idée générale : Il s'agit d'utiliser une bande numérique sur laquelle on peut faire déplacer un lutin avec des contraintes.

Considérations didactiques : La notion de division euclidienne est difficile car le résultat de l'opération est composé de deux nombres, quotient et reste, à qui il faut donner du sens.

Prérequis : Partage, Multiples, Diviseurs.

Nombre de séances envisagées : 3 séances.

Les deux premières séances doivent avoir lieu dans un intervalle d'une semaine maximum.

Rappels :

- Les élèves travaillent en binômes, sauf pour la séance 3 (résolution de problèmes) où les élèves travaillent individuellement.
- Les exercices qui présentent la notation $*#b$, $*#c$, ... (où # est un nombre) sont optionnels. Ils ont été pensés pour les binômes qui avancent plus vite.
- Nous avons indiqué l'exercice à partir duquel on peut faire le bilan.
- Les élèves peuvent utiliser d'autres feuilles comme espace de travail complémentaire à la fiche élève.
- Les tableaux de synthèse fournis sont donnés à titre indicatif. Vous pouvez les enrichir et les adapter.
- Dans les tableaux « déroulement de séance » vous avez une colonne « durée » pour votre organisation personnelle.
- Le découpage du contenu par séance ainsi que la durée de la séance peuvent être adaptés aux spécificités de la classe. Cependant il faut respecter la durée totale qui est l'équivalent de 3 séances de 50 minutes.

Descriptif de la séquence

<i>Séance</i>	<i>Objectif(s) spécifique(s)</i>	<i>Description</i>
Pré-test		Le pré-test est à faire avant les séances. Il prend environ 20 minutes. Il est dans le fichier « Pre-test Division euclidienne ».
1	Phase 1 : Travailler les prérequis sur les multiples et les diviseurs Phase 2 : Déterminer le quotient Comprendre le sens du reste	Il s'agit de déplacer un lutin sur la bande numérique pour atteindre une case cible (nombre encadré) en utilisant un type de saut choisi par le binôme d'élèves. Une variante consiste à ne pas passer par des cases spécifiques (bombes). Il s'agit de déplacer un lutin sur la bande numérique pour se rapprocher au maximum d'une case cible, sans la dépasser et en utilisant un type de saut donné. Plusieurs procédures sont possibles.
2	Déterminer le quotient et le reste. Travailler l'écriture de la division euclidienne Institutionnalisation	Il s'agit de déplacer un lutin sur une bande numérique pour atteindre une case cible sans la dépasser. Le quotient et le reste doivent être explicités. Division euclidienne
3	Résolution de problème	Cette séance peut servir d'ajustement pour terminer le travail de la séance 2 si besoin.
Post-test		Le post-test est à faire après les séances. Il prend environ 20 minutes. Il est dans le fichier « Post-test Division euclidienne ».

Cette séance est composée de deux phases.

Séance 1 - Phase 1 : Travailler les prérequis sur les multiples et les diviseurs

1. Description des situations

Le fichier « Sequence 1-1.sb2 » propose 4 exercices.

Ces exercices utilisent la bande numérique avec une case cible et éventuellement des cases « bombes » à éviter (cf. Figure 1). L'objectif est d'écrire un programme permettant au lutin de se rendre à la case cible en évitant les bombes éventuelles et en n'utilisant qu'un seul type de saut.

A la disposition du binôme le binôme d'élèves a des sauts de 1 à 9 et l'instruction « Répéter ».



Figure 1

Vocabulaire :

Le lutin peut avancer par des sauts de 1 pas, de 2 pas, de 3 pas...

Saut = un nombre de pas.

Dans Scratch un type de saut est représenté par l'instruction : « avancer de n pas »

Caractéristiques des exercices

Consigne pour les élèves (Ex 1 à 3b) :

Ecrivez un programme dans Scratch permettant au lutin de se rendre exactement à la case cible.

Vous n'avez le droit d'utiliser qu'un seul type de saut à choisir entre 1 et 9.

Vous pouvez l'utiliser autant de fois que vous le souhaitez.

Attention : dans certains exercices il faut éviter des bombes !

Synthèse (pour l'enseignant)

Exercice	Case cible	Bombes	Sauts solutions du problème
Exercice 1	24	Aucune	1, 2, 3, 4, 6, 8
Exercice 2	24	9 et 14	4, 6, 8 (Les sauts 1, 2 et 3 font passer par la bombe)
Exercice 3a	84	36	7 (Les sauts 1, 2, 3, 4 et 6 font passer par la bombe)
*Exercice 3b	105	48 et 25	7 (Les sauts 1, 3 et 5 font passer par la bombe)

2. Déroulement

<i>Durée</i>	<i>Etapes</i>	<i>Activités de l'enseignant / consignes</i>
	Présentation générale	<p>Présenter la situation (Tableau, affiche, vidéo projecteur...)</p> <p>- Présenter la consigne : <i>Ecrivez un programme dans Scratch permettant au lutin de se rendre à la case cible en évitant les bombes éventuelles et en n'utilisant qu'un seul type de saut.</i> Vérifier que les élèves ont compris la consigne</p> <p>- Contraintes : utiliser au choix un seul type de saut (de 1 à 9) éviter la case « bombe »</p> <p>- A la disposition du binôme : Des sauts de 1 à 9 et l'instruction « Répéter ».</p>
	Exercice 1	<p>Chaque binôme avance à son rythme. Circuler et accompagner les élèves en difficultés.</p> <p>Faire le point (si nécessaire) sur l'utilisation du bloc « Répéter ».</p>
	Bilan	<p>La correction se fait parallèlement sur les deux environnements Scratch et le tableau en effectuant la traduction de l'algorithme en écriture symbolique.</p> <p>Récolter les différentes procédures.</p> <p>Synthèse : les écritures : $24 = 12 \cdot 2 / 3 \cdot 8 / 4 \cdot 6 \dots$; vocabulaire : 24 est un multiple de 2 et 2 est un diviseur de 24 ... 24 a plusieurs diviseurs...</p>
	Exercices 2 à 3b	<p>Le ruban « basculer sur l'arrière plan » permet de passer d'un exercice à un autre.</p> <p>Pour ces 3 exercices insister sur la contrainte « bombe ».</p> <p>Les élèves avancent à leur rythme.</p>
	Bilan et synthèse	<p>Le bilan peut se faire dès l'<u>exercice 3a</u>.</p> <p>Parmi les sauts possibles lesquels sont diviseurs des bombes ?</p> <p>Synthèse sur les diviseurs.</p>

Séance 1 - Phase 2 : La division euclidienne

1. Description des situations

Le fichier « Sequence 1-2.sb2 » propose 6 exercices.

Ces exercices utilisent la bande numérique avec une case cible.

L'objectif est d'écrire un programme permettant au lutin de se rapprocher au maximum de la cible (nombre encadré), sans le dépasser, en utilisant le saut indiqué.

A la disposition du binôme le binôme d'élèves a des sauts de 1 à 12 et l'instruction « Répéter ».

Dans ces exercices, le lutin laisse une trace sur les cases où il passe (Figure 2).



Figure 2

Caractéristiques des exercices

Consigne pour les élèves (Ex. 4 à 6d) :

Ecrivez un programme dans Scratch permettant au lutin de se rapprocher au maximum du nombre encadré, sans le dépasser, et en utilisant le saut indiqué dans chaque exercice.

Exercices	Trace des sauts	Cible	Saut
Exercice 4	OUI	11	2
Exercice 5	OUI	38	4
Exercice 6a	OUI	77	3
*Exercice 6b	OUI	95	7
*Exercice 6c	OUI	123	6
*Exercice 6d	OUI	138	11

Procédures attendues :

- Par tâtonnement
- Mobilisation des multiples (par exemple : Ex. 4 et 5)
- Les traces des sauts permettent d'avancer de saut en saut en comptant le nombre de sauts.
- La division peut être mobilisée mais elle n'est pas attendue.

2. Déroulement

<i>Durée</i>	<i>Etapes</i>	<i>Activités de l'enseignant / consignes</i>
	Exercices 4 à 6d	<p>- Présenter la consigne : <i>Ecrivez un programme dans Scratch pour permettre au lutin de se rapprocher au maximum du nombre encadré, sans le dépasser, et en utilisant le saut indiqué.</i> Vérifier que les élèves ont compris la consigne.</p> <p>- Contraintes : On a le droit de n'utiliser que le saut indiqué dans le titre de l'exercice.</p> <p>- A disposition : Fiche élève. Les sauts de 1 à 12 et l'instruction « Répéter ».</p> <p>Chaque binôme avance à son rythme. Circuler et accompagner les élèves en difficulté.</p>
	Bilan et institutionnalisation	<p>Le bilan peut se faire dès l'exercice 6a.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Correction : présentation des algorithmes en les traduisant sous forme d'une égalité numérique. 2) Expliciter leur raisonnement (éventuellement faire émerger la division si elle apparaît). 3) Travailler les expressions « nombre de sauts », « il manque... » pour l'exprimer à l'aide de : $\text{Cible} = (\text{Type de saut} * \text{Nombre de sauts}) + \text{Reste}$. 4) Institutionnalisation : Introduction des termes de la division et écriture $D = (d*q) + r$.

Séance 2 - La division euclidienne (suite)

1. Description des situations

Le fichier « Sequence 1-3.sb2 » propose 8 exercices.

Ces exercices prolongent les précédents avec des valeurs différentes :

- Les cibles sont choisies grandes, le saut est petit et donc le quotient est grand.
- Absence de traces des sauts du lutin.
- Certaines cases successives sont cachées et matérialisées par un seul trait, qui ne permet pas de connaître le nombre de cases (Figure 3).

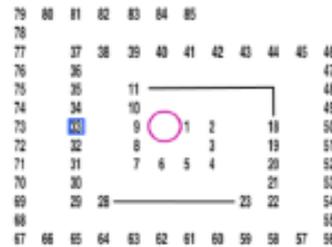


Figure 3

- Le joker : lorsque le saut ne permet pas d'arriver exactement à la cible, le binôme d'élèves possède à sa disposition un joker au choix qui lui permet de l'atteindre. (Exercices 9 à 11c).

Le choix de ces valeurs a pour objectif de disqualifier certaines procédures afin de privilégier celle qui utilise la division.

Caractéristiques des exercices

Consigne pour les élèves (Ex 7 à 8b) : *Ecrivez un programme dans Scratch pour permettre au lutin de se rapprocher au maximum du nombre encadré, sans le dépasser, et en utilisant le saut indiqué (autant de fois que vous souhaitez).*

Consigne pour les élèves (Ex 9 à 11c) : *Ecrivez un programme dans Scratch pour permettre au lutin d'arriver exactement sur le nombre encadré, en utilisant le saut indiqué (autant de fois que vous souhaitez), et en utilisant une seule fois un joker au choix (des sauts de 1 à 6 pour l'exercice 9, des sauts de 1 à 4 pour l'exercice 10, des sauts de 1 à 11 pour l'exercice 11a, des sauts de 1 à 9 pour l'exercice 11b et des sauts de 1 à 8 pour l'exercice 11c).*

Synthèse (pour l'enseignant)

Exercices	Trace des sauts	Vides	Cible	Saut
Exercice 7	NON	OUI	33	6
Exercice 8a	NON	NON	118	8
*Exercice 8b	NON	NON	137	11
Exercice 9	NON	NON	97	7
Exercice 10	NON	NON	145	5
Exercice 11a	NON	NON	135	12
*Exercice 11b	NON	NON	144	10
*Exercice 11c	NON	NON	150	9

2. Déroulement

<i>Durée</i>	<i>Étapes</i>	<i>Activités de l'enseignant / consignes</i>
	Exercices 7 à 8b	<p>- Présenter la consigne : <i>Ecrivez un programme dans Scratch pour permettre au lutin de se rapprocher au maximum du nombre encadré, sans le dépasser, et en utilisant le saut indiqué autant de fois que vous souhaitez.</i></p> <p>- Contraintes :</p> <ul style="list-style-type: none"> * Absence de trace des sauts afin de bloquer la procédure basée sur le dénombrement des traces. * Vides (Ex. 7) afin de bloquer la procédure de compter le nombre de sauts sur la frise. <p>- A la disposition du binôme :</p> <ul style="list-style-type: none"> * les sauts de 1 à 12 * l'instruction « Répéter ». <p>- Préciser qu'il faut s'arrêter à l'exercice 8b pour un bilan.</p> <p>- Circuler et accompagner les élèves en difficulté.</p>
	Bilan	<p>Le bilan peut se faire dès l'exercice 8a</p> <p>Synthèse par le professeur sur les différentes procédures et mise en évidence celle de la division.</p>
	Exercices 9 à 11c	<p>- Présenter la consigne : <i>Ecrivez un programme dans Scratch pour permettre au lutin d'arriver exactement sur le nombre encadré, en utilisant le saut indiqué autant de fois que vous souhaitez et en utilisant une seule fois un joker au choix (des sauts de 1 à 6 pour l'exercice 9, des sauts de 1 à 4 pour l'exercice 10, des sauts de 1 à 11 pour l'exercice 11a, des sauts de 1 à 9 pour l'exercice 11b et des sauts de 1 à 8 pour l'exercice 11c).</i></p> <p><i>Pour chaque exercice traduisez votre programme à l'aide d'une égalité dans l'espace de réponse.</i></p> <p>- Contraintes :</p> <ul style="list-style-type: none"> * Absence de trace des sauts afin de bloquer la procédure basée sur le dénombrement des traces. * Le Joker oblige le binôme d'élèves à déterminer de façon implicite la valeur du reste et donc de permettre de passer de l'écriture Cible = (Type de saut * Nombre de sauts) + Joker vers l'écriture de la division $D = (d * q) + r$. <p>- A la disposition du binôme :</p> <p>Le binôme d'élèves a à sa disposition les sauts de 1 à 12 et l'instruction « Répéter ».</p>
	Bilan et institutionnalisation	<p>Le bilan peut se faire dès l'exercice 11a.</p> <p>Le bilan porte sur l'écriture de la division euclidienne.</p>

Séance 3 - Résolution de problèmes

Cette séance n'utilise pas Scratch. Il s'agit de réinvestir individuellement les connaissances sur la division euclidienne pour la résolution de problème.

Chaque professeur décidera de la gestion de la séance (rappels, retour sur des bilans et synthèses...) en fonction des besoins.

Il n'est pas nécessaire de traiter tous les problèmes si le temps ne le permet pas.

Pour cette séance il n'y a pas de fiche élève spécifique. Les élèves peuvent travailler sur leur cahier, ou sur une fiche préparée par vous-même.

Problème 1

Sandra a 71 œufs.

Elle veut les ranger dans des boîtes. Une boîte pleine contient 6 œufs.

De combien de boîtes a-t-elle besoin ?

Problème 2

On souhaite ranger 78 livres dans des boîtes.

Chaque boîte peut contenir 5 livres.

De combien de boîtes a-t-on besoin ?

Les boîtes seront-elles toutes pleines ?

Problème 3

97 élèves participent à une manifestation sportive.

On souhaite constituer 20 équipes identiques avec le plus d'élèves possible. Combien y a-t-il d'élèves par équipe ?

Tous les élèves font-ils partie des équipes constituées ? Justifie ta réponse.

Problème 4

Julien remplit des boîtes de 6 œufs. Il a pu remplir 15 boîtes mais il lui reste trois places vides.

Combien d'œufs a-t-il rangés ?

Annexe 4 : Matériel élèves groupe programmation pour la division euclidienne.

Prénoms :

CMI - Fiche élève – Séquence 1

Exercices 1 à 3b (Fichier « Séquence 1-1.sb2 »)

Consigne :

Ecrivez un programme dans Scratch permettant au lutin de se rendre exactement à la case cible.

Vous n'avez le droit d'utiliser qu'un seul type de saut à choisir entre 1 et 9.

Vous pouvez l'utiliser autant de fois que vous le souhaitez.

Attention : dans certains exercices il faut éviter des bombes !

Exercice 1 : La cible est 24.

Exercice 2 : La cible est 24.

Exercice 3a : La cible est 84.

**Exercice 3b : La cible est 105.*

Espace de travail

Exercices 4 à 6d (Fichier « Séquence 1-2.sb2 »)**Consigne :**

Ecrivez un programme dans Scratch permettant au lutin de se rapprocher au maximum du nombre encadré, sans le dépasser , et en utilisant le saut indiqué dans chaque exercice.

Le lutin laisse des traces des sauts.

***Exercice 4** : La cible est 11 et le saut autorisé est 2.*

***Exercice 5** : La cible est 38 et le saut autorisé est 4.*

***Exercice 6a** : La cible est 77 et le saut autorisé est 3.*

****Exercice 6b** : La cible est 95 et le saut autorisé est 7.*

****Exercice 6c** : La cible est 123 et le saut autorisé est 6.*

****Exercice 6d** : La cible est 138 et le saut autorisé est 11.*

Espace de travail

Exercices 7 à 8b (Fichier « Séquence 1-3.sb2 »)**Consigne :**

Ecrivez un programme dans Scratch permettant au lutin de se rapprocher au maximum du nombre encadré, sans le dépasser, et en utilisant le saut indiqué dans chaque exercice (autant de fois que vous souhaitez).

***Exercice 7 :** La cible est 33 et le saut autorisé est 6.*

***Exercice 8a :** La cible est 118 et le saut autorisé est 8.*

****Exercice 8b :** La cible est 137 et le saut autorisé est 11.*

Espace de travail

Exercices 9 à 11c (Séquence 1-3.sb2)**Consigne :**

Ecrivez un programme dans Scratch pour permettre au lutin d'arriver exactement sur le nombre encadré.

Exercice 9 : *Vous avez le droit d'utiliser le saut 7 autant de fois que vous souhaitez et une seule fois un saut de votre choix entre 1 et 6.*

Exercice 10 : *Vous avez le droit d'utiliser le saut 5 autant de fois que vous souhaitez et une seule fois un saut de votre choix entre 1 et 4.*

Exercice 11a : *Vous avez le droit d'utiliser le saut 12 autant de fois que vous souhaitez et une seule fois un saut de votre choix entre 1 et 11.*

***Exercice 11b :** *Vous avez le droit d'utiliser le saut 10 autant de fois que vous souhaitez et une seule fois un saut de votre choix entre 1 et 9.*

***Exercice 11c :** *Vous avez le droit d'utiliser le saut 9 autant de fois que vous souhaitez et une seule fois un saut de votre choix entre 1 et 8.*

Traduisez vos programmes à l'aide d'égalités dans l'espace de réponse.

Espace de travail**Espace de réponse :**

Exercice 9

Exercice 10

Exercice 11a

*Exercice 11b

*Exercice 11c

Annexe 5 : Matériel enseignants groupe contrôle pour la décomposition additive.

Séquence 2 : Décomposition additive

Classe : CM1

Objectifs de la séquence : Renforcer l'aspect décimal de la numération.

Idee générale : Travailler la décomposition additive des nombres entiers avant l'introduction des décimaux.

Considérations didactiques : Il s'agit de renforcer et consolider les connaissances sur le système de numération décimal avant l'introduction de nouveaux nombres : décimaux. L'extension des règles d'écriture des entiers au cas des nombres décimaux permet de réinvestir ces règles. L'écriture des nombres entiers apparaît comme un cas particulier dont les unités d'ordre inférieur à l'unité simples sont absentes, expliquant l'absence de la virgule (Tempier, 2013).

Prérequis : Le développement de ces compétences relève du niveau CE2. Cependant, il est important de les reprendre en CM2 en vue d'une remédiation et consolidation avant l'introduction des décimaux.

Nombre de séances envisagées : 3 séances.

Rappels :

- Les élèves travaillent en binômes, sauf pour la séance 3 (résolution de problèmes) où les élèves travaillent individuellement.
- Les exercices qui présentent la notation $*#b$, $*#c$, ... (où # est un nombre) sont optionnels. Ils ont été pensés pour les binômes qui avancent plus vite.
- Nous avons indiqué l'exercice à partir duquel on peut faire le bilan.
- Les élèves peuvent utiliser d'autres feuilles comme espace de travail complémentaire à la fiche élève.
- Les tableaux de synthèse fournis sont donnés à titre indicatif. Vous pouvez les enrichir et les adapter.
- Dans les tableaux « déroulement de séance » vous avez une colonne « durée » pour votre organisation personnelle.
- Le découpage du contenu par séance ainsi que la durée de la séance peuvent être adaptés aux spécificités de la classe. Cependant il faut respecter la durée totale qui est l'équivalent de 3 séances de 50 minutes.

Descriptif de la séquence

<i>Séance</i>	<i>Objectif(s) spécifique(s)</i>	<i>Description</i>
Pré-test		Le pré-test est à faire avant les séances. Il prend environ 20 minutes. Il est dans le fichier « Pre-test Décomposition additive ».
1	Décomposer un nombre écrit en unités simples en une ou plusieurs unités Phase 1 : travailler plusieurs décompositions possibles Phase 2 : vers la décomposition canonique	Exemple : Décomposer 3857 à l'aide de 100 et 1. On travaille avec des grands nombres. L'idée est de travailler différentes décompositions additives dont la décomposition canonique.
2	Convertir un nombre, écrit en une seule unité ou plusieurs, en d'autres unités (une ou plusieurs)	Exemple : Décomposer 38 centaines et 57 unités à l'aide de dizaines et unités. On travaille avec des grands nombres. Ici, on doit convertir entre les différentes unités, ce qui oblige à travailler l'aspect décimal. On mobilise ces compétences dans des exercices qui portent sur des unités de mesure.
3	Résolution de problèmes	Cette séance peut servir d'ajustement pour terminer le travail de la séance 2 si besoin.
Post-test		Le post-test est à faire après les séances. Il prend environ 20 minutes. Il est dans le fichier « Post-test Décomposition additive ».

Séance 1

Cette séance est composée de deux phases

Séance 1 – Phase 1 : Associer différentes décompositions additives à un nombre donné

1. Description de la situation

Il s'agit d'atteindre, à l'aide de nombres imposés, un nombre cible grâce à la somme d'au moins deux nombres.

L'objectif est de travailler différentes décompositions additives d'un nombre entier.

Les caractéristiques des exercices :

Consignes pour les élèves (ex 1 à 6c) :

Il s'agit d'atteindre la valeur donnée grâce à la somme d'au moins deux valeurs autorisées.

Exercices	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées				
		10 000	1 000	100	10	1
Exercice 1	546	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Exercice 2	546	OUI	OUI	Interdit	OUI	OUI
Exercice 3	3 852	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Exercice 4	3 852	OUI	OUI	Interdit	OUI	OUI
Exercice 5	3 852	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI
Exercice 6a	43 115	OUI	OUI	OUI	Interdit	OUI
*Exercice 6b	40 215	Interdit	OUI	OUI	Interdit	OUI
*Exercice 6c	42 106	OUI	Interdit	Interdit	OUI	OUI

2. Déroulement de la séance 1 – phase 1

<i>Durée</i>	<i>Etapas</i>	<i>Activités de l'enseignant / consignes</i>
	Présentation générale Exercice 1 et 2	Points à présenter : - La consigne - La fiche élève Les binômes d'élèves effectuent les exercices 1 et 2.
	Bilan intermédiaire	Correction et mise au point collective. Vérifier la compréhension de la contrainte « Interdit ». Présenter la nouvelle consigne des exercices suivants.
	Exercices 3 à 5	Circuler et accompagner les élèves en difficulté.

	Bilan intermédiaire	<p>1) Corriger collectivement les exercices par exemple sous forme d'un tableau à partir de leurs réponses (cf. tableau ci dessous).</p> <p>2) Insister sur le sens des noms donnés aux différentes unités. 87 unités c'est 8 dizaines et 7 unités 38 centaines c'est 3 milliers et 8 centaines</p> <p>3) Expliquer les relations entre les unités : 1 millier = 10 centaines = 100 dizaines = 1000 unités 46 = 4 dizaines et 6 unités = $(4 \times 10) + 6$</p> <p>Ex3 : 8 centaines = 80 dizaines car 1centaine = 10 dizaines Ex4 : 3 milliers = 30 centaines car 1millier = 10 centaines 5 dizaines = 50 unités car 1 dizaine = 10 unités</p> <p>4) Explorer les différentes écritures. 546 = 5 centaines, 4 dizaines et 6 unités = $(5 \times 100) + (4 \times 10) + 6 \times 1$ = $(100+100+100+100+100) + (10+10+10+10) + (1+1+1+1+1)$ = $500 + 40 + 6$ 3852 = 38 centaines et 52 unités 3852 = $38 \times 100 + 52 \dots$</p>
	Exercice 6a à 6c	Circuler et accompagner les élèves en difficulté.
	Bilan Général	<p>Le bilan peut se faire de l'exercice 6a (en fonction du temps).</p> <p>1) Corriger collectivement les exercices par exemple sous forme d'un tableau à partir de leurs réponses (cf. tableau ci dessous).</p> <p>2) Passage d'une unité à une autre unité supérieure ou inférieure de 2 ordres.</p> <p>3) Eléments de synthèse sur le cahier de l'élève.</p>

Synthèse Ex 3 à 4b		Valeurs autorisées				
Exercices	Valeur à atteindre	10 000	1 000	100	10	1
Exercice 3	3 852		3	8 38	5	2 52
Exercice 4	3 852		3	Interdit	85 385	2 2
Exercice 5	3 852		Interdit	38 30	Interdit	52 852

Synthèse Ex 5 à 6c		Valeurs autorisées				
Exercices	Valeur à atteindre	10 000	1 000	100	10	1
Exercice 6a	43 115	4	3 43	1	Interdit	15 115
*Exercice 6b	40 215	Interdit	40	2 402	1 1	5 5
*Exercice 6c	42 106	4	Interdit	Interdit	210	6

Séance 1 - Phase 2 : Décomposition canonique

1. Description des situations

Ces exercices permettent de travailler la décomposition canonique d'un entier. Le travail se fait en deux temps.

D'abord on résout un problème de monnaie sur les euros (exercice 7), qui réinvestit les procédures de la phase 1. On ajoute une contrainte sur le nombre de billets minimum à utiliser.

Ensuite, on abordera la décomposition canonique (exercices 8 à 9b).

Les caractéristiques des exercices

Exercice 7 :

- Jean souhaite acheter un robot à 3 460 euros. Il ne dispose que de billets de 100 euros et de 10 euros. Atteignez cette somme à l'aide de billets de 100 et 10 euros. Indiquez le nombre de billets de 100 et 10 euros nécessaires dans l'espace réponse.*
- Il souhaite utiliser le moins possible de billets de 100 et 10 euros en tout. Pouvez-vous l'aider ? Indiquez le nombre de billets de 100 et 10 euros nécessaires dans l'espace réponse.*
- Il dispose des billets de 1000 euros, de 100 euros et de 10 euros. Constituez cette somme avec un nombre minimum de billets. Indiquez le nombre de billets de 1000, 100 et 10 euros nécessaires dans l'espace réponse.*

Exercices 8 à 9b :

Consigne pour 8, 9a et 9b :

On dispose de cartes avec des valeurs 10 000, 1 000, 100, 10 et 1.

Indiquez comment atteindre la valeur donnée en ajoutant les valeurs de ces cartes.

Il faut utiliser le moins de cartes possibles.

Exercices	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées				
		10 000	1 000	100	10	1
Exercice 8	3 852	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Exercice 9a	43 120	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
*Exercice 9b	40 106	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI

2. Déroulement de la séance 1 – phase 2

<i>Durée</i>	<i>Étapes</i>	<i>Activités de l'enseignant / consignes</i>
	Exercice 7	<ul style="list-style-type: none"> - Présenter la partie a) du problème. L'enseignant apprécie la difficulté de l'énoncé et choisit entre une lecture individuelle ou plutôt collective avec reformulation et explication. - Réaliser la partie a). - Corriger collectivement : synthèse sur les solutions possibles (différentes écritures) <hr/> <ul style="list-style-type: none"> - Présenter la partie b) : introduire et expliquer la contrainte « utiliser le moins possible de billets de ... ». - Réaliser la partie b). - Corriger collectivement : synthèse sur les solutions possibles (différentes écritures). <hr/> <ul style="list-style-type: none"> - Présenter la partie c). - Réaliser la partie c). - Corriger collectivement : synthèse sur l'unicité de l'écriture.
	Exercices 8 à 9b	<p>Le bilan peut se faire de l'exercice 9a. Circuler et accompagner les élèves en difficulté.</p>
	Bilan	<p>Synthèse sur la décomposition additive des nombres et l'écriture canonique. Faire remarquer que pour obtenir le nombre minimum de cartes il ne faut pas avoir plus de 9 cartes d'une même valeur. Revenir sur les relations entre les unités et sur le sens de nombre de centaine.</p>

Séance 2

Séance 2 - Convertir un nombre, écrit en une seule unité ou plusieurs, en d'autres unités

1. Description des situations

Ces exercices permettent de travailler l'aspect décimal à partir des conversions entre unités.

Le nombre est donné sous forme de nombre de centaines, de dizaines, ...

Les écritures peuvent être canoniques ou non.

Les caractéristiques des exercices

Consigne :

Il s'agit d'atteindre la valeur donnée en utilisant toutes les valeurs autorisées.

Exercices	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées				
		10 000	1 000	100	10	1
10	53 centaines 110 unités	Interdit	OUI	OUI	OUI	Interdit
11	5 unités 421 dizaines 3 centaines	Interdit	OUI	OUI	OUI	OUI
12a	2 milliers 23 centaines 15 dizaines	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI
*12b	152 unités 4 milliers 12 centaines	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
*12c	13 dizaines 60 milliers 3 centaines	OUI	Interdit	Interdit	OUI	Interdit

2. Déroulement de la séance 2

Durée	Étapes	Activités de l'enseignant / consignes
	Présentation générale	Vérifier que les élèves ont compris la consigne.
	Exercices 10 à 12c	Circuler et accompagner les élèves en difficulté.
	Bilan	Le bilan peut se faire de l'exercice 12a. - Correction des exercices. (cf. tableau ci dessous) - Retour sur les relations entre les unités (à partir des réponses recueillies mettre en avant des équivalences mises en jeu). Par exemple dans l'ex 1 : 10 centaines = 1 millier.



Synthèse		Valeurs autorisées				
Exercices	Valeur à atteindre	10 000	1 000	100	10	1
Exercice 10	53 centaines 110 unités	Interdit	5 5	4 3	1 11	Interdit
Exercice 11	5 unités 421 dizaines 3 centaines	Interdit	4 4	5 3	1 21	5 5
Exercice 12a	2 milliers 23 centaines 15 dizaines	2	Interdit	2231 231	Interdit	50 50
*Exercice 12b	152 unités 4 milliers 12 centaines		6	7	2	
*Exercice 12c	13 dizaines 60 milliers 3 centaines	6	Interdit	Interdit	313	Interdit

Séance 3 - Résolution de problèmes

Le but de cette séance est de réinvestir individuellement les connaissances sur la décomposition additive pour la résolution de problème.

Chaque professeur décidera de la gestion de la séance (rappels, retour sur des bilans et synthèses...) en fonction des besoins.

Il n'est pas nécessaire de traiter tous les problèmes si le temps ne le permet pas.

Pour cette séance il n'y a pas de fiche élève spécifique. Les élèves peuvent travailler sur leur cahier, ou sur une fiche préparée par vous-même.

Problème 1

Le prix d'un ordinateur est 1350 euros.

Un client possède plusieurs billets de 100 euros et 15 billets de 10 euros.

Il souhaite utiliser toutes les billets 10 euros. Combien billets de 100 euros doit-il utiliser ?

Problème 2

Le prix d'une moto est 7580 euros.

Un client dispose de billets de 1000 euros, de 100 euros et de 10 euros. Atteignez cette somme avec un nombre minimum de billets.

Problème 3

a) Pierre souhaite retirer à la banque la somme de 13 500 euros en billets de 100 euros.

Combien de billets de 100 euros aura-t-il ?

b) Pierre souhaite retirer à la banque la somme de 13 840 euros en billets de 100 euros et 10 euros. Il souhaite avoir un minimum de billets de 10 euros.

Combien de billets de 100 euros aura-t-il ?

Annexe 6 : Matériel élèves groupe contrôle pour la décomposition additive.

Prénoms :

CM1 - Fiche élève – Séquence 2

Exercices 1 à 2 (Séance 1 - Phase 1)

Consigne :

Il s'agit d'atteindre la valeur donnée grâce à la somme d'au moins deux valeurs autorisées.

Exercices	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées				
		10 000	1 000	100	10	1
Exercice 1	546	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Exercice 2	546	OUI	OUI	Interdit	OUI	OUI

Espace de travail

Exercices 3 à 6c (Séance 1 - Phase 1)**Consigne :**

Il s'agit d'atteindre la valeur donnée grâce à la somme d'au moins deux valeurs autorisées.

Ecrivez les sommes trouvées dans l'espace de réponse.

Exercices	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées				
		10 000	1 000	100	10	1
Exercice 3	3 852	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Exercice 4	3 852	OUI	OUI	Interdit	OUI	OUI
Exercice 5	3 852	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI
Exercice 6a	43 125	OUI	OUI	OUI	Interdit	OUI
*Exercice 6b	40 285	Interdit	OUI	OUI	Interdit	OUI
*Exercice 6c	42 106	OUI	Interdit	Interdit	OUI	OUI

Espace de travail**Espace de réponses**

Exercices	Valeur à atteindre	Ecriture additive
Exercice 3	3 852	
Exercice 4	3 852	
Exercice 5	3 852	
Exercice 6a	43 125	
Exercice 6b	40 285	
Exercice 6c	42 106	

Exercice 7 (Séance 1 - Phase 2)**Consigne :**

- a) Jean souhaite acheter un robot à 3 460 euros. Il ne dispose que de billets de 100 euros et de 10 euros. Atteignez cette somme à l'aide de billets de 100 et 10 euros. Indiquez le nombre de billets de 100 et 10 euros nécessaires dans l'espace réponse.
- b) Il souhaite utiliser le moins possible de billets de 100 et 10 euros en tout. Pouvez-vous l'aider ? Indiquez le nombre de billets de 100 et 10 euros nécessaires dans l'espace réponse.
- c) Il dispose des billets de 1000 euros, de 100 euros et de 10 euros. Constituez cette somme avec un nombre minimum de billets. Indiquez le nombre de billets de 1000, 100 et 10 euros nécessaires dans l'espace réponse.

Espace de travail**Espace de réponses**

	Prix	Ecriture additive
a)	3 460	
b)	3 460	
c)	3 460	

Exercice 8 à 9b (Séance 1 - Phase 2)**Consigne :**

On dispose de cartes avec des valeurs 10 000, 1 000, 100, 10 et 1.

Indiquez comment atteindre la valeur donnée en ajoutant les valeurs de ces cartes.

Il faut utiliser le moins de cartes possibles.

Exercices	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées				
		10 000	1 000	100	10	1
Exercice 8	3 852	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Exercice 9a	43 120	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
*Exercice 9b	40 106	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI

Espace de travail**Espace de réponses**

Exercice	Valeur	Ecriture additive
8)	3 852	
9a)	43 120	
9b)	40 106	

Exercices 10 à 12c (Séance 2)**Consigne :**

Il s'agit d'atteindre la valeur donnée en utilisant toutes les valeurs autorisées.

Exercices	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées				
		10 000	1 000	100	10	1
10	53 centaines 110 unités	Interdit	OUI	OUI	OUI	Interdit
11	5 unités 421 dizaines 3 centaines	Interdit	OUI	OUI	OUI	OUI
12a	2 milliers 23 centaines 15 dizaines	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI
*12b	152 unités 4 milliers 12 centaines	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
*12c	13 dizaines 60 milliers 3 centaines	OUI	Interdit	Interdit	OUI	Interdit

Espace de travail**Espace de réponses**

Exercice	Ecriture additive
10)	
11)	
12a)	
12b)	
12c)	

Annexe 7 : Matériel enseignants groupe programmation pour la décomposition additive.

Séquence 2 : Décomposition additive

Classe : CMI

Objectifs de la séquence : Renforcer l'aspect décimal de la numération.

Idee générale : Travailler la décomposition additive des nombres entiers avant l'introduction des décimaux.

Considérations didactiques : Il s'agit de renforcer et consolider les connaissances sur le système de numération décimal avant l'introduction de nouveaux nombres : les décimaux. L'extension des règles d'écritures des entiers au cas des nombres décimaux permet de réinvestir ces règles. L'écriture des nombres entiers apparaît comme un cas particulier dont les unités d'ordre inférieur à l'unité simple sont absentes, expliquant l'absence de la virgule (Tempier, 2013).

Prérequis : Le développement de ces compétences relève du niveau CE2. Cependant, il est important de les reprendre en CMI en vue d'une remédiation et consolidation avant l'introduction des décimaux.

Nombre de séances envisagées : 3 séances.

Rappels :

- Les élèves travaillent en binômes, sauf pour la séance 3 (résolution de problèmes) où les élèves travaillent individuellement.
- Les exercices qui présentent la notation $*#b$, $*#c$, ... (où # est un nombre) sont optionnels. Ils ont été pensés pour les binômes qui avancent plus vite.
- Nous avons indiqué l'exercice à partir duquel on peut faire le bilan.
- Les élèves peuvent utiliser d'autres feuilles comme espace de travail complémentaire à la fiche élève.
- Les tableaux de synthèse fournis sont donnés à titre indicatif. Vous pouvez les enrichir et les adapter.
- Dans les tableaux « déroulement de séance » vous avez une colonne « durée » pour votre organisation personnelle.
- Le découpage du contenu par séance ainsi que la durée de la séance peuvent être adaptés aux spécificités de la classe. Cependant il faut respecter la durée totale qui est l'équivalent de 3 séances de 50 minutes.

Descriptif de la séquence

<i>Séance</i>	<i>Objectif(s) spécifique(s)</i>	<i>Description</i>
Pré-test		Le pré-test est à faire avant les séances. Il prend environ 20 minutes. Il est dans le fichier « Pre-test Décomposition additive ».
1	Décomposer un nombre écrit en unités simples en une ou plusieurs unités Phase 1 : travailler plusieurs décompositions possibles Phase 2 : vers la décomposition canonique	Exemple : Décomposer 3857 à l'aide de 100 et 1. On travaille avec des grands nombres. L'idée est de travailler différentes décompositions additives dont la décomposition canonique.
2	Convertir un nombre, écrit en une seule unité ou plusieurs, en d'autres unités (une ou plusieurs)	Exemple : Décomposer 38 centaines et 57 unités à l'aide de dizaines et unités. On travaille avec des grands nombres. Ici, on doit convertir entre les différentes unités, ce qui oblige à travailler l'aspect décimal. On mobilise ces compétences dans des exercices qui portent sur des unités de mesure.
3	Résolution de problèmes	Cette séance peut servir d'ajustement pour terminer le travail de la séance 2 si besoin.
Post-test		Le post-test est à faire après les séances. Il prend environ 20 minutes. Il est dans le fichier « Post-test Décomposition additive ».

Séance 1

Cette séance est composée de deux phases.

Séance 1 - Phase 1 : Associer différentes décompositions additives à un nombre donné

1. Description des situations

Le fichier « Sequence 2.sb2 » permet de faire les 17 exercices de la séquence.

Ces exercices permettent de travailler différentes décompositions additives d'un nombre entier.

On dispose de deux types de compteurs, qui correspondent à deux arrière-plans : si le déroulement d'un exercice prend beaucoup de temps avec le compteur prédéfini, on peut basculer sur l'arrière-plan « 'total' avance rapidement » (Figure 1).

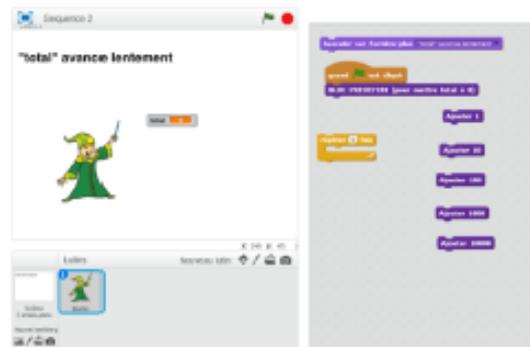


Figure 1

Les caractéristiques des exercices

Consignes pour les élèves (ex 1 à 8) :

Consigne 1. Ecrivez un ou plusieurs programmes dans Scratch qui permettent d'atteindre la valeur donnée en ajoutant les valeurs autorisées.

Il faut utiliser au moins deux valeurs autorisées.

Consigne 2. Traduisez sur votre fiche le programme trouvé sous forme d'une écriture additive.

Consignes	Exercices	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées				
			10 000	1 000	100	10	1
1	Exercice 1	546	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
	Exercice 2	546	OUI	OUI	Interdit	OUI	OUI
1 et 2	Exercice 3	3 852	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
	Exercice 4	3 852	OUI	OUI	Interdit	OUI	OUI
	Exercice 5	3 852	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI
	Exercice 6a	43 115	OUI	OUI	OUI	Interdit	OUI
	*Exercice 6b	40 215	Interdit	OUI	OUI	Interdit	OUI
	*Exercice 6c	42 106	OUI	Interdit	Interdit	OUI	OUI

2. Déroulement de la séance 1 – phase 1

<i>Durée</i>	<i>Etapes</i>	<i>Activités de l'enseignant / consignes</i>
	Présentation générale Exercice 1 et 2	Présenter la situation (Tableau, affiche, vidéo projecteur...) Points à présenter : - La consigne. - La fiche élève. Les binômes effectuent les exercices 1 et 2.
	Bilan intermédiaire	Correction et mise au point collective. Vérifier la compréhension de la contrainte « Interdit ». Traduire l'algorithme des exercices 1 et 2 à l'aide d'une écriture additive. Présenter la nouvelle consigne des exercices suivants.
	Exercices 3 à 6c	Circuler et accompagner les élèves en difficulté Faire le point collectif (si nécessaire) sur l'utilisation du bloc « répéter ». Rappeler qu'on peut basculer sur l'arrière-plan « 'total' avance rapidement » lorsqu'un exercice prend beaucoup de temps
	Bilan et institutionnalisation	Le bilan peut se faire dès l'exercice 6a. 1) Corriger collectivement les exercices par exemple sous forme. d'un tableau à partir de leurs réponses (cf. tableau ci dessous) 2) Insister sur le sens des noms donnés aux différentes unités. 87 unités c'est 8 dizaines et 7 unités 38 centaines c'est 3 milliers et 8 centaines 3) Expliquer les relations entre les unités. 1 millier = 10 centaines = 100 dizaines = 1000 unités 46 = 4 dizaines et 6 unités = $(4 \times 10) + 6$ Ex3 : 8 centaines = 80 dizaines car 1centaine = 10 dizaines Ex4 : 3 milliers = 30 centaines car 1millier = 10 centaines 5 dizaines = 50 unités car 1 dizaine = 10 unités 4) Explorer les différentes écritures. 546 = 5 centaines, 4 dizaines et 6 unités = $(5 \times 100) + (4 \times 10) + 6 \times 1$ = $(100+100+100+100+100) + (10+10+10+10) + (1+1+1+1+1)$ = 500+40+6 3852 = 38 centaines et 52 unités 3852 $8 \times 100 + 52 \dots$ 5) Eléments de synthèse sur le cahier de l'élève.

Synthèse Ex 3 à 6c		Valeurs autorisées				
Exercices	Valeur à atteindre	10 000	1 000	100	10	1
Exercice 3	3 852		3	8 38	5	2 52
Exercice 4	3 852		3	Interdit	85 385	2 2
Exercice 5	3 852		Interdit	38 30	Interdit	52 852
Exercice 6a	43 115	4	3 43	1	Interdit	15 115
*Exercice 6b	40 215	Interdit	40	2 402	1 1	5 5
*Exercice 6c	42 106	4	Interdit	Interdit	210	6

Séance 1 - Phase 2 : Décomposition canonique

1. Description des situations

Le fichier est toujours le même : « Sequence 2.sb2 ».

Ces exercices permettent de travailler la décomposition canonique d'un entier. Le travail se fait en deux temps.

D'abord on résout un problème de monnaie sur les euros (exercice 7), qui réinvestit les procédures de la phase 1. On ajoute une contrainte sur le nombre de billets minimum à utiliser.

Ensuite, on abordera la décomposition canonique (exercices 8 à 9b)

Les caractéristiques des exercices :

Exercice 7 :

- a) Jean souhaite acheter un robot à 3 460 euros. Il ne dispose que de billets de 100 euros et de 10 euros. Ecrivez un programme qui permet d'atteindre cette somme à l'aide de billets de 100 et 10 euros.

Traduisez sur votre fiche le programme trouvé sous forme d'une écriture additive.

- b) Il souhaite maintenant utiliser le moins possible de billets de 100 et 10 euros en tout. Ecrivez un programme pour l'aider.

Traduisez sur votre fiche le programme trouvé sous forme d'une écriture additive.

- c) Il dispose maintenant de billets de 1000 euros, de 100 euros et de 10 euros. Ecrivez un programme qui lui permet d'atteindre cette somme avec un nombre minimum de billets.

Traduisez sur votre fiche le programme trouvé sous forme d'une écriture additive.

Exercices 8 à 9b :

Consigne pour 8, 9a et 9b :

Nous disposons de cartes avec des valeurs 10 000, 1 000, 100, 10 et 1.

Ecrivez un programme qui permet d'atteindre la valeur donnée en ajoutant les valeurs de ces cartes.

Il faut utiliser le moins de cartes possibles.

Traduisez sur votre fiche le programme trouvé sous forme d'une écriture additive.

Exercices	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées				
		10 000	1 000	100	10	1
Exercice 8	3 852	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Exercice 9a	43 120	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
*Exercice 9b	40 106	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI

2. Déroulement de la séance 1 – phase 2

<i>Durée</i>	<i>Etapas</i>	<i>Activités de l'enseignant / consignes</i>
	Exercice 7	<ul style="list-style-type: none"> - Présenter la partie a) du problème. L'enseignant apprécie la difficulté de l'énoncé et choisit entre une lecture individuelle ou plutôt collective avec reformulation et explication. - Réaliser la partie a). - Corriger collectivement : synthèse sur les solutions possibles (différentes écritures).
		<ul style="list-style-type: none"> - Présenter la partie b) : introduire et expliquer la contrainte « utiliser le moins possible de billets de ... ». - Réaliser la partie b). - Corriger collectivement : synthèse sur les solutions possibles (différentes écritures).
		<ul style="list-style-type: none"> - Présenter la partie c). - Réaliser la partie c). - Corriger collectivement : synthèse sur l'unicité de l'écriture .
	Exercices 8 à 9b	Circuler et accompagner les élèves en difficulté.
	Bilan	<p>Le bilan peut se faire dès l'<u>exercice 9a</u>.</p> <p>Synthèse sur la décomposition additive des nombres et l'écriture canonique.</p> <p>Faire remarquer que pour obtenir le nombre minimum de cartes il ne faut pas avoir plus de 9 cartes d'une même valeur.</p> <p>Revenir sur les relations entre les unités et sur le sens de nombre de centaine.</p>

Séance 2

Séance 2 - Convertir un nombre, écrit en une seule unité ou plusieurs, en d'autres unités

1. Description des situations

Le fichier est toujours le même : « Sequence 2.sb2 ».

Ces exercices permettent de travailler l'aspect décimal à partir des conversions entre unités.

Le nombre est donné sous forme de nombre de centaines, de dizaines, ...

Les écritures peuvent être canoniques ou non.

Les caractéristiques des exercices

Consigne :

Écrivez un programme dans Scratch qui permet d'atteindre la valeur donnée en utilisant toutes les valeurs autorisées.

Exercices	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées				
		10 000	1 000	100	10	1
10	53 centaines 110 unités	Interdit	OUI	OUI	OUI	Interdit
11	5 unités 421 dizaines 3 centaines	Interdit	OUI	OUI	OUI	OUI
12a	2 milliers 23 centaines 15 dizaines	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI
*12b	152 unités 4 milliers 12 centaines	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
*12c	13 dizaines 60 milliers 3 centaines	OUI	Interdit	Interdit	OUI	Interdit

2. Déroulement de la séance 2

Durée	Étapes	Activités de l'enseignant / consignes
	Présentation générale	Vérifier que les élèves ont compris la consigne.
	Exercices 10 à 12c	Circuler et accompagner les élèves en difficulté.
	Bilan	Le bilan peut se faire dès l'exercice 12a. - Correction des exercices. (Cf. tableau ci dessous). - Retour sur les relations entre les unités (à partir des réponses recueillies mettre en avant des équivalences mises en jeu). Par exemple dans l'ex 1 : 10 centaines = 1 millier.

Synthèse		Valeurs autorisées				
Exercices	Valeur à atteindre	10 000	1 000	100	10	1
Exercice 10	53 centaines 110 unités	Interdit	5 5	4 3	1 11	Interdit
Exercice 11	5 unités 421 dizaines 3 centaines	Interdit	4 4	5 3	1 21	5 5
Exercice 12a	2 milliers 23 centaines 15 dizaines	2	Interdit	2231 231	Interdit	50 50
*Exercice 12b	152 unités 4 milliers 12 centaines		6	7	2	
*Exercice 12c	13 dizaines 60 milliers 3 centaines	6	Interdit	Interdit	313	Interdit

Séance 3 - Résolution de problèmes

Cette séance n'utilise pas Scratch. Il s'agit de réinvestir individuellement les connaissances sur la décomposition additive pour la résolution de problème.

Chaque professeur décidera de la gestion de la séance (rappels, retour sur des bilans et synthèses...) en fonction des besoins.

Il n'est pas nécessaire de traiter tous les problèmes si le temps ne le permet pas.

Pour cette séance il n'y a pas de fiche élève spécifique. Les élèves peuvent travailler sur leur cahier, ou sur une fiche préparée par vous-même.

Problème 1

Le prix d'un ordinateur est 1350 euros.

Un client possède plusieurs billets de 100 euros et 15 billets de 10 euros.

Il souhaite utiliser toutes les billets 10 euros. Combien billets de 100 euros doit-il utiliser ?

Problème 2

Le prix d'une moto est 7580 euros.

Un client dispose de billets de 1000 euros, de 100 euros et de 10 euros. Atteignez cette somme avec un nombre minimum de billets.

Problème 3

a) Pierre souhaite retirer à la banque la somme de 13 500 euros en billets de 100 euros.

Combien de billets de 100 euros aura-t-il ?

b) Pierre souhaite retirer à la banque la somme de 13 840 euros en billets de 100 euros et 10 euros. Il souhaite avoir un minimum de billets de 10 euros.

Combien de billets de 100 euros aura-t-il ?

Annexe 8 : Matériel élèves groupe programmation pour la décomposition additive.

Prénoms :

CMI - Fiche élève – Séquence 2

Exercices 1 à 2 (Séance 1 – Fichier « Séquence 2.sb2 »)

Consigne :

Ecrivez un ou plusieurs programmes dans Scratch qui permettent d'atteindre la valeur donnée en ajoutant les valeurs autorisées.

Il faut utiliser au moins deux valeurs autorisées :

Exercices	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées				
		10 000	1 000	100	10	1
Exercice 1	546	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Exercice 2	546	OUI	OUI	Interdit	OUI	OUI

Espace de travail

Exercices 3 à 8 (Séance 1 – Fichier « Séquence 2.sb2 »)**Consigne :**

Ecrivez un ou plusieurs programmes dans Scratch qui permettent d'atteindre la valeur donnée en ajoutant les valeurs autorisées.

Il faut utiliser au moins deux valeurs autorisées.

Traduisez sur votre fiche le programme trouvé sous forme d'une écriture additive.

Exercices	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées				
		10 000	1 000	100	10	1
Exercice 3	3852	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Exercice 4	3852	OUI	OUI	Interdit	OUI	OUI
Exercice 5	3852	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI
Exercice 6a	43 125	OUI	OUI	OUI	Interdit	OUI
*Exercice 6b	40 285	Interdit	OUI	OUI	Interdit	OUI
*Exercice 6c	42 106	OUI	Interdit	Interdit	OUI	OUI

Espace de travail**Espace de réponses**

Exercices	Valeur à atteindre	Ecriture additive
Exercice 3	3 852	
Exercice 4	3 852	
Exercice 5	3 852	
Exercice 6a	43 125	
*Exercice 6b	40 285	
*Exercice 6c	42 106	

Exercice 7 (Séance 1 – Fichier « Séquence 2.sb2 »)**Consigne :**

- a) *Jean souhaite acheter un robot à 3 460 euros. Il ne dispose que de billets de 100 euros et de 10 euros. Ecrivez un programme qui permet d'atteindre cette somme à l'aide de billets de 100 et 10 euros.
Traduisez sur votre fiche le programme trouvé sous forme d'une écriture additive.*
- b) *Il souhaite maintenant utiliser le moins possible de billets de 100 et 10 euros en tout. Ecrivez un programme pour l'aider.
Traduisez sur votre fiche le programme trouvé sous forme d'une écriture additive.*
- c) *Il dispose maintenant de billets de 1000 euros, de 100 euros et de 10 euros. Ecrivez un programme qui lui permet d'atteindre cette somme avec un nombre minimum de billets.
Traduisez sur votre fiche le programme trouvé sous forme d'une écriture additive.*

Espace de travail**Espace de réponses**

	Prix	écriture additive
a)	3 460	
b)	3 460	
c)	3 460	

Exercice 8 à 9b (Séance 1 – Fichier « Séquence 2.sb2 »)**Consigne :**

On dispose de cartes avec des valeurs 10 000, 1 000, 100, 10 et 1.

Ecrivez un programme dans Scratch qui permet d'atteindre la valeur donnée en ajoutant les valeurs de ces cartes.

Il faut utiliser le moins de cartes possibles.

Traduisez sur votre fiche le programme trouvé sous forme d'une écriture additive.

Exercices	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées				
		10 000	1 000	100	10	1
Exercice 8	3 852	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Exercice 9a	43 120	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
*Exercice 9b	40 106	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI

Espace de travail**Espace de réponses**

Exercice	Valeur	Ecriture additive
8)	3 852	
9a)	43 120	
9b)	40 106	

Exercices 10 à 12c – (Séance 2 – Fichier « Séquence 2.sb2 »)**Consigne :**

Ecrivez un programme dans Scratch qui permet d'atteindre la valeur donnée en utilisant toutes les valeurs autorisées.

Exercices	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées				
		10 000	1 000	100	10	1
10	53 centaines 110 unités	Interdit	OUI	OUI	OUI	Interdit
11	5 unités 421 dizaines 3 centaines	Interdit	OUI	OUI	OUI	OUI
12a	2 milliers 23 centaines 15 dizaines	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI
*12b	152 unités 4 milliers 12 centaines	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
*12c	13 dizaines 60 milliers 3 centaines	OUI	Interdit	Interdit	OUI	Interdit

Espace de travail**Espace de réponses**

Exercice	Ecriture additive
10)	
11)	
12a)	
12b)	
12c)	

Annexe 9 : Matériel enseignants groupe contrôle pour les fractions.

Séquence 4 : Fractions

Classe : CM2

Objectifs de la séquence : L'objectif est de travailler les équivalences entre les différentes écritures fractionnaires d'un nombre donné sous forme d'écriture décimale, ainsi que les différentes décompositions.

Programmes

Les fractions et les décimaux au cycle 3 :

« Les fractions puis les nombres décimaux apparaissent comme de nouveaux nombres introduits pour pallier l'insuffisance des nombres entiers, notamment pour mesurer des longueurs, des aires et repérer des points sur une demi-droite graduée. Le lien à établir avec les connaissances acquises à propos des entiers est essentiel. Avoir une bonne compréhension des relations entre les différentes unités de numération des entiers (unités, dizaines, centaines de chaque ordre) permet de les prolonger aux dixièmes, centièmes... »
(Annexe 2, Programme d'enseignement du cycle de consolidation, 2002).

Considérations didactiques :

Dans l'esprit des programmes nous abordons la fraction selon le sens de partage (un certain nombre de fois une part).

Prérequis : Mesurer une longueur, fractions simples, fractions décimales.

Cette séquence doit être placée une fois que le travail sur les fractions décimales a été fait, ainsi que le rappel du passage à l'écriture décimale des fractions décimales (avec vos propres séquences).

Nombre de séances envisagées : 3 séances.

Rappels :

- Les élèves travaillent en binômes.
- Les exercices qui présentent la notation $\frac{*#b}{*#c}$, ... (où # est un nombre) sont optionnels. Ils ont été pensés pour les binômes qui avancent plus vite.
- Nous avons indiqué l'exercice à partir duquel on peut faire le bilan.
- Les élèves peuvent utiliser d'autres feuilles comme espace de travail complémentaire à la fiche élève.
- Les tableaux de synthèse fournis sont donnés à titre indicatif. Vous pouvez les enrichir et les adapter.
- Dans les tableaux « déroulement de séance » vous avez une colonne « durée » pour votre organisation personnelle.
- Le découpage du contenu par séance ainsi que la durée de la séance peuvent être adaptés aux spécificités de la classe. Cependant il faut respecter la durée totale qui est l'équivalent de 3 séances de 50 minutes.

Descriptif de la séquence

<i>Séance</i>	<i>Objectif(s) spécifique(s)</i>	<i>Description</i>
Pré-test		Le pré-test est à faire avant les séances. Il prend environ 20 minutes. Il est dans le fichier « Pre-test Fractions ».
1	Exprimer des longueurs à l'aide de la bande unité u et ses fractions. Rappeler le lien avec l'écriture décimale.	Exprimer la longueur des blocs à l'aide de l'unité de la bande unité u et ses fractions. Après avoir travaillé plusieurs écritures possibles, on demandera explicitement d'utiliser les fractions décimales. Travailler les équivalences entre les fractions. Faire le lien avec l'écriture décimale.
2	Lien entre écriture décimale et écriture fractionnaire. Repérage de points sur une demi-droite graduée à l'aide des fractions.	L'objectif est de travailler les équivalences entre les différentes écritures fractionnaires d'un nombre donné sous forme d'écriture décimale, ainsi que les différentes décompositions.
3	Lien entre écriture décimale, écriture fractionnaire, décomposition additive. Phase 1 : travailler plusieurs décompositions possibles Phase 2 : vers la décomposition canonique	Exemples : Décomposer 5261 à l'aide de centaines, dizaines et dixièmes. Décomposer $\frac{32151}{10}$ à l'aide de milliers, unités et centièmes. On reprend les situations travaillées dans la séquence 2 avec les nombres décimaux. L'objectif est de travailler différentes décompositions additives d'un nombre, soit donné sous forme d'écriture décimale, soit donné sous forme de fraction décimale. Dans la deuxième phase on travaillera sur la décomposition canonique.
Post-test		Le post-test est à faire après les séances. Il prend environ 20 minutes. Il est dans le fichier « Post-test Fractions ».

Séance 1

1. Description des situations

Il s'agit d'exprimer des longueurs à l'aide de la bande unité u et ses fractions.
Rappeler le lien avec l'écriture décimale.

Caractéristiques des exercices

Consigne pour les élèves (Ex 1a à 5c) :

On dispose d'un bloc de longueur donnée. Exprimez la longueur du bloc de plusieurs façons à l'aide de la bande unité u et ses fractions :
« un demi de u », « un tiers de u », « un quart de u », « un cinquième de u », « un dixième de u ».

Synthèse (pour les enseignants)

Exercices	Mesure
Exercice 1a	$2u$
*Exercice 1b	$3u$
Exercice 2a	$2u+1/2u$
*Exercice 2b	$1u+3/4u$
Exercice 3	$2u+2/3u$
Exercice 4	$1/2u$
Exercice 5a	$2u$
*Exercice 5b	$1u+3/10u$
*Exercice 5c	$2u+6/10u$

2. Déroulement de la séance 1

Durée	Étapes	Activités de l'enseignant / consignes
	Exercice 1a et 1b	<p>- Consigne :</p> <p><i>Exercice 1a. Vous avez un bloc de longueur $2u$. Exprimez la longueur du bloc de plusieurs façons à l'aide de la bande unité u et ses fractions :</i> <i>« un demi de u », « un tiers de u », « un quart de u », « un cinquième de u », « un dixième de u ».</i></p> <p><i>Exercice 1b. Vous avez un bloc de longueur $3u$. Exprimez la longueur du bloc de plusieurs façons à l'aide de la bande unité u et ses fractions :</i> <i>« un demi de u », « un tiers de u », « un quart de u », « un cinquième de u », « un dixième de u ».</i></p> <p>Distribuer la fiche élève 4-1.</p> <p>Vérifier que les élèves ont compris la consigne. Chaque binôme avance à son rythme. Ciruler et accompagner les élèves en difficulté.</p>

Exercice 2a	<p>Consigne :</p> <p><i>Vous avez un bloc qui mesure $2u + \frac{1}{2}u$. Exprimez sa longueur à l'aide d'une écriture numérique pour chacun des cas suivants :</i></p> <p><i>a – vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u »</i> <i>b - vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un quart de u »</i> <i>c - vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u »</i> <i>d - vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un dixième de u »</i> <i>e - vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un cinquième de u »</i> <i>f - vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u » et « un tiers de u »</i> <i>g - vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un tiers de u »</i></p> <p>A la disposition du binôme : Fiche élève 4-1</p>
*Exercice 2b	<p>Consigne :</p> <p><i>Vous avez un bloc qui mesure $1u + \frac{3}{4}u$. Exprimez sa longueur à l'aide d'une écriture numérique pour chacun des cas suivants :</i></p> <p><i>a – vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u »</i> <i>b - vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un quart de u »</i> <i>c - vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un dixième de u »</i> <i>d - vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un cinquième de u »</i></p> <p>A la disposition du binôme : Fiche élève 4-1</p>
Bilan intermédiaire	<p>Le bilan peut se faire dès l'exercice 2a. Travailler le vocabulaire un demi, un quart, ... en lien avec les notations fractionnaire. Travailler les différentes écritures fractionnaires d'un même nombre.</p>
Exercice 3	<p>Consigne :</p> <p><i>Vous avez un bloc qui mesure $2u + \frac{2}{3}u$. Exprimez sa longueur à l'aide d'une écriture numérique pour chacun des cas suivants :</i></p> <p><i>a – vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un tiers de u »</i> <i>b - vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un tiers de u »</i> <i>c - vous n'avez le droit d'utiliser que « un tiers de u »</i> <i>d - vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u » et « un tiers de u »</i> <i>e - vous n'avez le droit d'utiliser que « un cinquième de u » et « un tiers de u »</i></p> <p>A la disposition du binôme : Fiche élève 4-1</p>
Bilan et institutionnalisation	<p>Travailler le vocabulaire un demi, un quart, ... en lien avec les notations fractionnaire. Travailler les différentes écritures fractionnaires d'un même nombre. Institutionnalisation.</p>

<i>Durée</i>	<i>Étapes</i>	<i>Activités de l'enseignant / consignes</i>
	Exercice 4	<p>Consigne :</p> <p><i>Vous avez un bloc qui mesure $\frac{1}{2}u$. Exprimez sa longueur à l'aide d'une écriture numérique en utilisant uniquement « un dixième de u »</i></p> <p>A la disposition du binôme :</p> <p>Fiche élève 4-1</p>
	Exercice 5a à 5c	<p>Consigne 5a :</p> <p><i>Vous avez un bloc qui mesure $2u$. Exprimez sa longueur à l'aide d'une écriture numérique pour chacun des cas suivants :</i></p> <p><i>a - vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u »</i></p> <p><i>b - vous n'avez le droit d'utiliser que « u » et « un dixième de u »</i></p> <p>Consigne 5b :</p> <p><i>Vous avez un bloc qui mesure $1u + \frac{3}{10}u$. Exprimez sa longueur à l'aide d'une écriture numérique pour chacun des cas suivants :</i></p> <p><i>a - vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u »</i></p> <p><i>b - vous n'avez le droit d'utiliser que « u » et « un dixième de u »</i></p> <p>Consigne 5c :</p> <p><i>Vous avez un bloc qui mesure $2u + \frac{6}{10}u$. Exprimez sa longueur à l'aide d'une écriture numérique pour chacun des cas suivants :</i></p> <p><i>a - vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u »</i></p> <p><i>b - vous n'avez le droit d'utiliser que « u » et « un dixième de u »</i></p>
	Bilan	<p>Le bilan peut se faire dès l'<u>exercice 5a</u> (en fonction du temps).</p> <p>Travailler le vocabulaire un dixième... en lien avec les notations fractionnaire.</p> <p>Travailler les différentes écritures fractionnaires d'un même nombre et faire le lien avec l'écriture décimale.</p>

Séance 2

Séance 2 – Ecriture décimale – Repérage de points sur une demi-droite graduée

Il faut renforcer le travail des écritures fractionnaires décimales avant de mettre en place cette séance.

Dans la première partie de cette séance on rappelle la convention de l'écriture décimale $0,1 = \frac{1}{10}$;

$$0,2 = \frac{2}{10} ; \dots$$

Ensuite, l'objectif est de travailler les différentes écritures fractionnaires d'un nombre donné sous forme d'écriture décimale ainsi que les différentes décompositions.

1. Description des situations

Il s'agit de placer des points sur une demi-droite graduée avec des dixièmes jusqu'à 4.

Un kangourou est placé à l'origine et fait des bonds de longueurs données.

2. Déroulement de la séance 2

<i>Durée</i>	<i>Etapas</i>	<i>Activités de l'enseignant / consignes</i>
	Ecriture décimale	Retour sur les écritures des fractions décimales $a/10$ et rappeler la notation décimale : un dixième = $1/10 = 0,1$; $2/10 = 0,2$; $10/10 = 1$ Insister sur le vocabulaire 0 unité et 1 dixième = 0,1 ...
	Exercice 6	Consigne : <i>Au départ un kangourou se trouve à l'origine d'une demi-droite graduée. Placez le kangourou sur un point qui représente un nombre donné. Il ne fait que « des bonds d'un dixième d'unité ». Indiquez le nombre de bonds.</i> <i>a – le nombre $\frac{4}{2}$</i> <i>b – le nombre $\frac{1}{2}$</i> <i>c – le nombre $\frac{28}{10}$</i> A la disposition du binôme : Instructions : « des bonds d'un dixième » Fiche élève 4-2
	Bilan	Le bilan peut se faire pendant le déroulement de l'exercice. Pour c, rappeler l'écriture 2,8

Exercice 7	<p>Consigne :</p> <p><i>Au départ un kangourou se trouve à l'origine d'une demi-droite graduée. Placez le kangourou sur un point qui représente un nombre donné. Il ne fait que les bonds autorisés. Indiquez le nombre de bonds.</i></p> <p><i>a – Placez le kangourou sur 0,9 en utilisant uniquement « des bonds d'un dixième d'unité »</i></p> <p><i>b – Placez le kangourou sur 2,4 en utilisant uniquement « des bonds d'un dixième d'unité »</i></p> <p><i>c – Placez le kangourou sur 1,8 en utilisant uniquement « des bonds d'un dixième d'unité »</i></p> <p><i>Bilan 1</i></p> <p><i>d - Placez le kangourou sur 1,8 en utilisant uniquement « des bonds d'un demi d'unité » et « un dixième d'unité »</i></p> <p><i>e - Placez le kangourou sur 1,8 en utilisant uniquement « des bonds d'un quart d'unité » et « des bonds d'un cinquième d'unité »</i></p> <p><i>Bilan 2</i></p> <p><i>f - Placez le kangourou sur 2,8 en utilisant uniquement « des bonds d'un quart d'unité » et « des bonds d'un cinquième d'unité »</i></p> <p><i>g - Placez le kangourou sur 2,3 en utilisant uniquement « des bonds d'un quart d'unité » et « des bonds d'un dixième d'unité »</i></p> <p>A la disposition du binôme :</p> <p>Fiche élève 4-2</p>
Bilan et institutionnalisation	<p>Traduire les procédures à l'aide des écritures fractionnaires et décimales.</p> <p>Travailler les différentes écritures fractionnaires d'un même nombre.</p> <p>Institutionnalisation.</p>

Séance 3

Cette séance est composée de deux phases.

Séance 3 - Phase 1 : Associer différentes décompositions additives à un nombre donné

1. Description des situations

Ces exercices permettent de travailler différentes décompositions additives d'un nombre, soit donné sous forme d'écriture décimale, soit sous forme de fractions décimales.

Les caractéristiques des exercices

Consigne (Ex de 8 à 13b) :

Il s'agit d'atteindre la valeur donnée grâce à la somme d'au moins deux valeurs autorisées.

Exercices	Valeur V à atteindre	Valeurs autorisées						
		milliers	centaines	dizaines	unités	dixièmes	centièmes	millièmes
Exercice 8	5 261	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI	OUI
Exercice 9	4,012	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Exercice 10a	4,012	OUI	OUI	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI
*Exercice 10b	1 214,52	Interdit	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI
Exercice 11	$\frac{32\ 151}{10}$	OUI	Interdit	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI
Exercice 12a	$\frac{84\ 153}{100}$	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI	OUI
*Exercice 12b	$\frac{521\ 203}{1000}$	OUI	OUI	OUI	Interdit	OUI	OUI	OUI
Exercice 13a	432 dizaines 21 dixièmes 7 centièmes	Interdit	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI
*Exercice 13b	127 unités 5 dixièmes 14 millièmes	OUI	OUI	OUI	Interdit	Interdit	Interdit	OUI



2. Déroulement de la séance 3 – phase 1

<i>Durée</i>	<i>Etapes</i>	<i>Activités de l'enseignant / consignes</i>
	Présentation générale Exercice 8	Présenter la situation Points à présenter : - La consigne. - La fiche élève 4-3. - Les binômes d'élèves effectuent l'exercice 8. - Correction et mise au point collective. Cet exercice permet de vérifier si les élèves ont compris la consigne.
	Exercices 9 à 10b	Circuler et accompagner les élèves en difficulté.
	Bilan	Le bilan peut se faire dès l'exercice 10a. 1) Corriger collectivement les exercices par exemple sous forme d'un tableau à partir de leurs réponses (cf. tableau ci-dessous). 2) Insister sur le sens des noms donnés aux différentes unités. 41 dixièmes c'est 4 unités et 1 dixième 452 centièmes c'est 4 unités, 5 dixièmes et 8 centièmes 3) Expliquer les relations entre les unités : 1 millier = 10 centaines = 100 dizaines = 1000 unités 1 unité = 10 dixièmes = 100 centièmes = 1000 millièmes 4) Explorer les différentes écritures. 4,312 = 4 unités, 3 dixièmes, 1 centième et 2 millièmes = (4*1) + (3*1/10) + (1*1/100) + (2*1/1000) = (1+1+1+1) + (1/10+1/10+1/10) + 1/100+(1/1000+1/1000) = 4+0,3+0,01+0,002
	Exercice 11 à 12b	Circuler et accompagner les élèves en difficulté. Expliquer les relations entre les différentes écritures : Exemples : $\frac{32\ 151}{10} = 3\text{ milliers, }215\text{ unités et }10\text{ dizaines} = 3215,1$
	Bilan	Le bilan peut se faire dès l'exercice 12a. Corriger collectivement les exercices par exemple sous forme d'un tableau à partir de leurs réponses.
	Exercice 13a à 13b	Circuler et accompagner les élèves en difficulté. Expliquer les relations entre les différentes écritures : Exemples : 432 dizaines, 21 dixièmes et 7 centièmes = 432 217 centièmes = $\frac{432\ 217}{100} = 4\ 322,17$
	Bilan Général	Le bilan peut se faire dès l'exercice 13a (en fonction du temps). 1) Corriger collectivement les exercices par exemple sous forme d'un tableau à partir de leurs réponses (cf. tableau ci dessous). 2) Passage d'une unité à une autre unité supérieure ou inférieure de 2 ordres. 3) Eléments de synthèse sur le cahier de l'élève.

Synthèse Ex 8 à 10b		Valeurs autorisées						
Exercices	Valeur à atteindre	milliers	centaines	dizaines	unités	dixièmes	centièmes	millièmes
Exercice 8	5 261	5	Interdit	26	Interdit	10		
Exercice 9	4,012				4	40	1	2 12
Exercice 10a	4,012				Interdit	40	Interdit	12
*Exercice 10b	1 214,52	Interdit	12	Interdit	14	Interdit	52	

Synthèse Ex 11 à 12b		Valeurs autorisées						
Exercices	Valeur à atteindre	milliers	centaines	dizaines	unités	dixièmes	centièmes	millièmes
Exercice 11	$\frac{32\ 151}{10}$	3	Interdit	Interdit	215	Interdit	10	
*Exercice 12a	$\frac{84\ 153}{100}$		Interdit	84	Interdit	15	3	
*Exercice 12b	$\frac{521\ 203}{1000}$		5	2	Interdit	12		3

Synthèse Ex 13a à 13b		Valeurs autorisées						
Exercices	Valeur à atteindre	milliers	centaines	dizaines	unités	dixièmes	centièmes	millièmes
Exercice 13a	432 dizaines 21 dixièmes 7 centièmes	Interdit	43	Interdit	22 4 322	Interdit	17 17	
*Exercice 13b	127 unités 5 dixièmes 14 millièmes		1 1	12 2	Interdit	Interdit	Interdit	7 514 7 514 27 514

Séance 3 - Phase 2 : Décomposition canonique

1. Description des situations

Ces exercices permettent de travailler la décomposition canonique d'un nombre décimal.

Les caractéristiques des exercices :

Consigne (Ex de 14 à 16) :

On dispose de cartes avec les valeurs « un millier », « un centaine », « un dizaine », « une unité », « un dixième », « un centième », « un millième ».

Il s'agit d'atteindre une valeur donnée en ajoutant les valeurs de ces cartes.

Il faut utiliser le moins de cartes possibles.

Exercices	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées						
		milliers	centaines	dizaines	unités	dixièmes	centièmes	millièmes
Exercice 14	1 402,53	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Exercice 15	$\frac{3\ 174}{100}$	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Exercice 16	15 centaines 432 centièmes 6 millièmes	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI

2. Déroulement de la séance 3 – phase 2

Durée	Etapes	Activités de l'enseignant / consignes
	Exercice 14	Corriger collectivement : synthèse sur l'unicité de l'écriture Si nécessaire expliquer la contrainte « <i>utiliser le moins de cartes possible</i> ».
	Exercices 15 à 16	Circuler et accompagner les élèves en difficulté.
	Bilan	Synthèse sur la décomposition additive des nombres et l'écriture canonique. Faire remarquer que pour obtenir le nombre minimum de cartes il ne faut pas avoir plus de 9 cartes d'une même valeur. Revenir sur les relations entre les unités et sur le sens de nombre de centaine.

Annexe 10 : Matériel élèves groupe contrôle pour les fractions.

Prénoms :

CM2 - Fiche élève 4-1

Exercice 1a à 1b

Consigne :

*Vous avez un bloc de longueur $2u$. Exprimez la longueur du bloc de plusieurs façons à l'aide de la bande unité u et ses fractions :
« un demi de u », « un tiers de u », « un quart de u », « un cinquième de u », « un dixième de u ».*

Espace de travail

Espace de réponse

.....
.....

Exercice 1b

Consigne :

*Vous avez un bloc de longueur $3u$. Exprimez la longueur du bloc de plusieurs façons à l'aide de la bande unité u et ses fractions :
« un demi de u », « un tiers de u », « un quart de u », « un cinquième de u », « un dixième de u ».*

Espace de travail

Espace de réponse

.....
.....

Exercice 2a**Consignes**

Vous avez un bloc qui mesure $2u + \frac{1}{2}u$. Exprimez sa longueur à l'aide d'une écriture numérique pour chacun des cas suivants :

- a - Vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u »*
- b - Vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un quart de u »*
- c - Vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u »*
- d - Vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un dixième de u »*
- e - Vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un cinquième de u »*
- f - Vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u » et « un tiers de u »*
- g - Vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un tiers de u »*

Espace de travail

Prénoms :

CM2 - Fiche élève 4-1

Exercices	Réponses
a) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u »
b) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un quart de u »
c) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u »
d) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un dixième de u »
e) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un cinquième de u »
f) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u » et « un tiers de u »
g) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un tiers de u »

Exercice 2b*Consigne :**

Vous avez un bloc qui mesure $1u + \frac{3}{4}u$. Exprimez sa longueur à l'aide d'une écriture numérique pour chacun des cas suivants :

a - Vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u »

b - Vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un quart de u »

c - Vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un dixième de u »

d - Vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un cinquième de u »

Espace de travail

Exercices	Réponses
a) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u »
b) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un quart de u »
c) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un dixième de u »
d) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un cinquième de u »

Exercice 3**Consigne :**

Vous avez un bloc qui mesure $2u + \frac{2}{3}u$. Exprimez sa longueur à l'aide d'une écriture numérique pour chacun des cas suivants :

a - Vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un tiers de u »

b - Vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un tiers de u »

c - Vous n'avez le droit d'utiliser que « un tiers de u »

d - Vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u » et « un tiers de u »

e - Vous n'avez le droit d'utiliser que « un cinquième de u » et « un tiers de u »

Espace de travail

Exercices	Réponses
a) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un tiers de u »
b) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un tiers de u »
c) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un tiers de u »
d) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u » et « un tiers de u »
e) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un cinquième de u » et « un tiers de u »

Exercice 4**Consigne :**

Vous avez un bloc qui mesure $\frac{1}{2}u$. Exprimez sa longueur à l'aide d'une écriture numérique en utilisant uniquement « un dixième de u »

Espace de travail**Espace de réponse****Exercice 5a****Consigne :**

Vous avez un bloc qui mesure $2u$. Exprimez sa longueur à l'aide d'une écriture numérique pour chacun des cas suivants.

Espace de travail

Exercices	Réponses
a) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u »
b) Vous n'avez le droit d'utiliser que « u » et « un dixième de u »

Exercice 5b*Consigne :**

Vous avez un bloc qui mesure $1u + \frac{3}{10}u$. Exprimez sa longueur à l'aide d'une écriture numérique pour chacun des cas suivants.

Espace de travail

Exercices	Réponses
a) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u »
b) Vous n'avez le droit d'utiliser que « u » et « un dixième de u »

Exercice 5c*Consigne :**

Vous avez un bloc qui mesure $2u + \frac{6}{10}u$. Exprimez sa longueur à l'aide d'une écriture numérique pour chacun des cas suivants.

Espace de travail

Exercices	Réponses
a) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u »
b) Vous n'avez le droit d'utiliser que « u » et « un dixième de u »

Exercice 6**Consigne :**

Au départ un kangourou se trouve à l'origine d'une demi-droite graduée. Placez le kangourou sur un point qui représente un nombre donné. Il ne fait que « des bonds d'un dixième d'unité ». Indiquez le nombre de bonds.

Espace de travail

Exercices	Réponses
a) le nombre $\frac{4}{2}$
b) le nombre $\frac{1}{2}$
c) le nombre $\frac{28}{10}$

Exercice 7**Consigne :**

Au départ un kangourou se trouve à l'origine d'une demi-droite graduée. Placez le kangourou sur un point qui représente un nombre donné. Il ne fait que les bonds autorisés. Indiquez le nombre de bonds.

Espace de travail

Conditions	Réponses
a) Placez le kangourou sur 0,9 en utilisant uniquement « des bonds d'un dixième d'unité »
b) Placez le kangourou sur 2,4 en utilisant uniquement « des bonds d'un dixième d'unité »
c) Placez le kangourou sur 1,8 en utilisant uniquement « des bonds d'un dixième d'unité »
Bilan 1	
d) Placez le kangourou sur 1,8 en utilisant uniquement « des bonds d'un demi d'unité » et « des bonds d'un dixième d'unité »
e) Placez le kangourou sur 1,8 en utilisant uniquement « des bonds d'un quart d'unité » et « des bonds d'un cinquième d'unité »
Bilan 2	
f) Placez le kangourou sur 2,8 en utilisant uniquement « des bonds d'un quart d'unité » et « des bonds d'un cinquième d'unité »
g) Placez le kangourou sur 2,3 en utilisant uniquement « des bonds d'un quart d'unité » et « des bonds d'un dixième d'unité »

Exercices 8 à 10b

Consigne :

Il s'agit d'atteindre la valeur donnée grâce à la somme d'au moins deux valeurs autorisées.

Ex	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées						
		milliers	centaines	dizaines	unités	dixièmes	centièmes	millièmes
8	5 261	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI	OUI
9	4,012	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
10a	4,012	OUI	OUI	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI
*10b	1 214,52	Interdit	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI

Espace de travail

Espace de réponses

	Valeur à atteindre	Ecriture additive
8)	5 261	
9)	4,012	
10a)	4,012	
10b)	1 214,52	

Exercices 11 à 12b

Consigne :

Il s'agit d'atteindre la valeur donnée grâce à la somme d'au moins deux valeurs autorisées.

Ex	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées						
		milliers	centaines	dizaines	unités	dixièmes	centièmes	millièmes
11	$\frac{32\ 151}{10}$	OUI	Interdit	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI
12a	$\frac{84\ 153}{100}$	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI	OUI
*12b	$\frac{521\ 203}{1000}$	OUI	OUI	OUI	Interdit	OUI	OUI	OUI

Espace de travail

Espace de réponses

	Valeur à atteindre	Ecriture additive
11)	$\frac{32\ 151}{10}$	
12a)	$\frac{84\ 153}{100}$	
12b)	$\frac{521\ 203}{1000}$	

Exercices 13a à 13b

Consigne :

Il s'agit d'atteindre la valeur donnée grâce à la somme d'au moins deux valeurs autorisées.

Ex	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées						
		milliers	centaines	dizaines	unités	dixièmes	centièmes	millièmes
13a	432 dizaines 21 dixièmes 7 centièmes	Interdit	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI
*13b	127 unités 5 dixièmes 14 millièmes	OUI	OUI	OUI	Interdit	Interdit	Interdit	OUI

Espace de travail

Espace de réponses

	Valeur à atteindre	Ecriture additive
13a)	432 dizaines 21 dixièmes 7 centièmes	
13b)	127 unités 5 dixièmes 14 millièmes	

Exercices 14 à 16

Consigne :

On dispose de cartes avec les valeurs « un millier », « un centaine », « un dizaine », « une unité », « un dixième », « un centième », « un millième ».

Il s'agit d'atteindre une valeur donnée en ajoutant les valeurs de ces cartes.

Il faut utiliser le moins de cartes possibles.

Ex	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées						
		milliers	centaines	dizaines	unités	dixièmes	centièmes	millièmes
14	1 402,53	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
15	$\frac{3\ 174}{100}$	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
16	15 centaines 432 centièmes 6 millièmes	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI

Espace de travail

Espace de réponses

	Valeur à atteindre	Ecriture additive
14)	1 402,53	
15)	$\frac{3\ 174}{100}$	
16)	15 centaines 432 centièmes 6 millièmes	

Annexe 11 : Matériel enseignants groupe programmation pour les fractions.

Séquence 4 : Fractions

Classe : CM2

Objectifs de la séquence : L'objectif est de travailler les équivalences entre les différentes écritures fractionnaires d'un nombre donné sous forme d'écriture décimale, ainsi que les différentes décompositions.

Programmes

Les fractions et les décimaux au cycle 3 :

« Les fractions puis les nombres décimaux apparaissent comme de nouveaux nombres introduits pour pallier l'insuffisance des nombres entiers, notamment pour mesurer des longueurs, des aires et repérer des points sur une demi-droite graduée. Le lien à établir avec les connaissances acquises à propos des entiers est essentiel. Avoir une bonne compréhension des relations entre les différentes unités de numération des entiers (unités, dizaines, centaines de chaque ordre) permet de les prolonger aux dixièmes, centièmes... »
(Annexe 2, Programme d'enseignement du cycle de consolidation, 2002)

Considérations didactiques :

Dans l'esprit des programmes nous abordons la fraction selon le sens de partage (un certain nombre de fois une part).

Prérequis : Mesurer une longueur, fractions simples, fractions décimales.

Cette séquence doit être placée une fois que le travail sur les fractions décimales a été fait, ainsi que le rappel du passage à l'écriture décimale des fractions décimales (avec vos propres séquences)

Pour ce prérequis, vous mettez en œuvre vos propres séquences.

Nombre de séances envisagées : 3 séances.

Rappels :

- Les élèves travaillent en binômes.
- Les exercices qui présentent la notation $*#b$, $*#c$, ... (où # est un nombre) sont optionnels. Ils ont été pensés pour les binômes qui avancent plus vite.
- Nous avons indiqué l'exercice à partir duquel on peut faire le bilan.
- Les élèves peuvent utiliser d'autres feuilles comme espace de travail complémentaire à la fiche élève.
- Les tableaux de synthèse fournis sont donnés à titre indicatif. Vous pouvez les enrichir et les adapter.
- Dans les tableaux « déroulement de séance » vous avez une colonne « durée » pour votre organisation personnelle.
- Le découpage du contenu par séance ainsi que la durée de la séance peuvent être adaptés aux spécificités de la classe. Cependant il faut respecter la durée totale qui est l'équivalent de 3 séances de 50 minutes.

Descriptif de la séquence

<i>Séance</i>	<i>Objectif(s) spécifique(s)</i>	<i>Description</i>
Pré-test		Le pré-test est à faire avant les séances. Il prend environ 20 minutes. Il est dans le fichier « Pre-test Fractions ».
1	Mesurer des longueurs à l'aide de la bande unité u et ses fractions dans l'environnement Scratch. Rappeler le lien avec l'écriture décimale.	Ecrire des programmes mesurant des blocs à l'aide de l'unité de la bande unité u et ses fractions. Après avoir travaillé plusieurs écritures possibles, on demandera explicitement d'utiliser les fractions décimales. Traduire ces programmes à l'aide des écritures fractionnaires, y compris sous forme de décomposition additive. Travailler les équivalences entre les fractions. Faire le lien avec l'écriture décimale.
2	Lien entre écriture décimale et écriture fractionnaire. Repérage de points sur une demi-droite graduée à l'aide des fractions.	L'objectif est de travailler les équivalences entre les différentes écritures fractionnaires d'un nombre donné sous forme d'écriture décimale, ainsi que les différentes décompositions.
3	Lien entre écriture décimale, écriture fractionnaire, décomposition additive. Phase 1 : travailler plusieurs décompositions possibles Phase 2 : vers la décomposition canonique	Exemples : Décomposer 5261 à l'aide de centaines, dizaines et dixièmes. Décomposer $\frac{32151}{10}$ à l'aide de milliers, unités et centièmes. On veut reprendre les situations travaillées dans la séquence 2 avec les nombres décimaux. L'objectif est de travailler différentes décompositions additives d'un nombre, soit donné sous forme d'écriture décimale, soit donné sous forme de fraction décimale. Dans la deuxième phase on travaillera sur la décomposition canonique.
Post-test		Le post-test est à faire après les séances. Il prend environ 20 minutes. Il est dans le fichier « Post-test Fractions ».

Séance 1

Il s'agit de mesurer des longueurs à l'aide de la bande unité u et ses fractions dans l'environnement Scratch.

Rappeler le lien avec l'écriture décimale.

1. Description des situations

Le fichier « Sequence 4-1.sb2 » propose 9 exercices.

Il s'agit de mesurer un bloc à l'aide d'une bande unité (u) donnée et ses fractions simples (Figure 1).



Figure 1

Caractéristiques des exercices

Consigne pour les élèves (Ex 1a à 5c) :

Ecrivez un programme dans Scratch qui permet de mesurer la longueur d'un bloc à l'aide d'une ou plusieurs bandes indiquées.

Traduisez le programme à l'aide d'une écriture numérique dans l'espace réponse.

Synthèse (pour l'enseignant)

Exercices	Mesure
Exercice 1a	$2u$
*Exercice 1b	$3u$
Exercice 2a	$2u+1/2u$
*Exercice 2b	$1u+3/4u$
Exercice 3	$2u+2/3u$
Exercice 4	$1/2u$
Exercice 5a	$2u$
*Exercice 5b	$1u+3/10u$
*Exercice 5c	$2u+6/10u$

2. Déroulement de la séance 2

Durée	Étapes	Activités de l'enseignant / consignes
	Exercice 1a et 1b	<p>- Consigne : <i>Ecrivez un programme dans Scratch qui permet de mesurer la longueur du bloc à l'aide d'une ou plusieurs bandes parmi celles disponibles.</i> <i>Traduisez le programme à l'aide d'une écriture numérique dans l'espace réponse.</i></p> <p>- A la disposition du binôme : Les mesures : « u », « un demi de u », « un tiers de u », « un quart de u », « un cinquième de u » et « un dixième de u ». L'instruction « répéter ». Fiche élève 4-1.</p> <p>Vérifier que les élèves ont compris la consigne. Chaque élève avance à son rythme. Circuler et accompagner les élèves en difficultés.</p>
	Exercice 2a	<p>Consigne : <i>Ecrivez un programme dans Scratch qui permet de mesurer la longueur du bloc à l'aide d'une ou plusieurs bandes indiquées.</i> <i>Traduisez le programme à l'aide d'une écriture numérique pour chacun des cas suivants :</i></p> <p>a – vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » b - vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un quart de u » c - vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u » d - vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un dixième de u » e - vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un cinquième de u » f - vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u » et « un tiers de u » g - vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un tiers de u »</p> <p>A la disposition du binôme : Les mesures : « u », « un demi de u », « un tiers de u », « un quart de u », « un cinquième de u » et « un dixième de u ». L'instruction « répéter ». Fiche élève 4-1.</p>
	*Exercice 2b	<p>Consigne : <i>Ecrivez un programme dans Scratch qui permet de mesurer la longueur du bloc à l'aide d'une ou plusieurs bandes indiquées.</i> <i>Traduisez le programme à l'aide d'une écriture numérique pour chacun des cas suivants :</i></p> <p>a – vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » b - vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un quart de u » c - vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un dixième de u » d - vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un cinquième de u »</p> <p>A la disposition du binôme : Les mesures : « u », « un demi de u », « un tiers de u », « un quart de u », « un cinquième de u » et « un dixième de u ». L'instruction « répéter ». Fiche élève 4-1.</p>

Bilan intermédiaire	<p>Le bilan peut se faire dès l'<u>exercice 2a</u>.</p> <p>Traduire les algorithmes à l'aide des écritures fractionnaires.</p> <p>Travailler le vocabulaire un demi, un quart, ... en lien avec les notations fractionnaires.</p> <p>Travailler les différentes écritures fractionnaires d'un même nombre.</p>
Exercice 3	<p>Consigne :</p> <p><i>Ecrivez un programme dans Scratch qui permet de mesurer la longueur du bloc à l'aide d'une ou plusieurs bandes indiquées.</i></p> <p><i>Traduisez le programme à l'aide d'une écriture numérique pour chacun des cas suivants :</i></p> <p><i>a - vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un tiers de u »</i></p> <p><i>b - vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un tiers de u »</i></p> <p><i>c - vous n'avez le droit d'utiliser que « un tiers de u »</i></p> <p><i>d - vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u » et « un tiers de u »</i></p> <p><i>e - vous n'avez le droit d'utiliser que « un cinquième de u » et « un tiers de u »</i></p> <p>A la disposition du binôme :</p> <p>Les mesures : « u », « un demi de u », « un tiers de u », « un quart de u », « un cinquième de u » et « un dixième de u ».</p> <p>L'instruction « répéter ».</p> <p>Fiche élève 4-1.</p>
Bilan et institutionnalisation	<p>Traduire les algorithmes à l'aide des écritures fractionnaires.</p> <p>Travailler le vocabulaire un demi, un quart, ... en lien avec les notations fractionnaires.</p> <p>Travailler les différentes écritures fractionnaires d'un même nombre.</p> <p>Institutionnalisation.</p>

Durée	Etapes	Activités de l'enseignant / consignes
	Exercice 4	<p>Consigne :</p> <p><i>Ecrivez un programme dans Scratch qui permet de mesurer la longueur du bloc à l'aide de « un dixième de u ».</i></p> <p><i>Traduisez le programme à l'aide d'une écriture numérique dans l'espace réponse.</i></p> <p>A la disposition du binôme :</p> <p>Les mesures : « u », « un demi de u », « un tiers de u », « un quart de u », « un cinquième de u » et « un dixième de u ».</p> <p>L'instruction « répéter ».</p> <p>Fiche élève 4-1.</p>
	Exercice 5a à 5c	<p>Consigne :</p> <p><i>Ecrivez un programme dans Scratch qui permet de mesurer la longueur du bloc à l'aide d'une ou plusieurs bandes indiquées.</i></p> <p><i>Traduisez le programme à l'aide d'une écriture numérique pour chacun des cas suivants :</i></p> <p><i>a - vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u »</i></p> <p><i>b - vous n'avez le droit d'utiliser que « u » et « un dixième de u »</i></p>
	Bilan	<p>Le bilan peut se faire dès l'<u>exercice 5a</u>.</p> <p>Traduire les algorithmes à l'aide des écritures fractionnaires.</p> <p>Travailler le vocabulaire un dixième... en lien avec les notations fractionnaires.</p> <p>Travailler les différentes écritures fractionnaires d'un même nombre et faire le lien avec l'écriture décimale.</p>

Séance 2

Ecriture décimale - Repérage de points sur une demi-droite graduée.

Maintenant, l'objectif est de travailler les différentes écritures fractionnaires d'un nombre donné sous forme d'écriture décimale, ainsi que les différentes décompositions.

1. Description des situations

Le fichier « Sequence 4-2.sb2 » permet de faire 2 exercices.

Il s'agit de placer des points sur une demi-droite graduée à l'aide d'une instruction « reporter ... » (Figure 2).

Caractéristiques des exercices

L'arrière-plan « graduation 1 » est constitué d'une demi-droite graduée à l'aide de l'unité et ses multiples.

L'élève travaille au niveau de la graduation 1, et, pour vérifier sa réponse, il bascule sur la graduation 2.

En effet, dans la graduation 2, la demi-droite est graduée à l'aide de dixièmes.

La graduation 2 peut être travaillée sans la graduation 1, en particulier avec les élèves en difficulté.

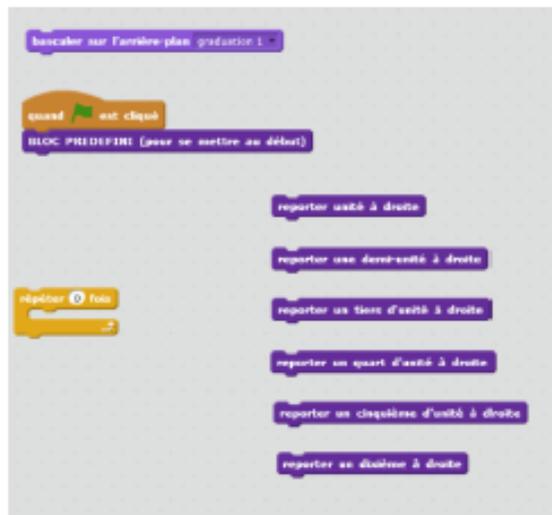
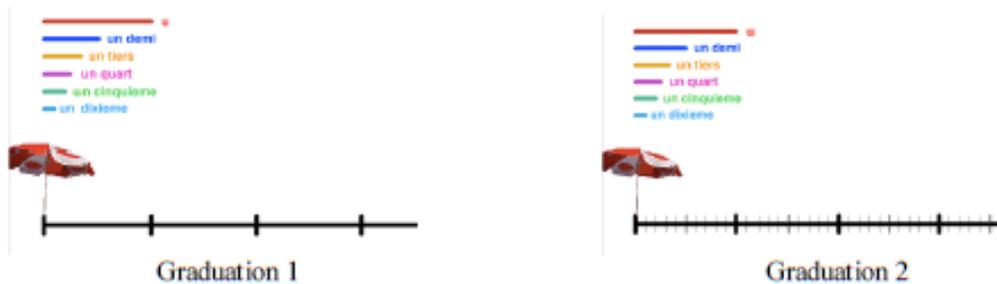


Figure 2

2. Déroulement de la séance 2

Durée	Etapas	Activités de l'enseignant / consignes
	Ecriture décimale	Retour sur les écritures des fractions décimales $a/10$ et rappeler la notation décimale : un dixième = $1/10 = 0,1$; $2/10 = 0,2$; $10/10 = 1$ Insister sur le vocabulaire 0 unité et 1 dixième = 0,1 ...

Exercice 6		<p>Consigne :</p> <p><i>Ecrivez un programme dans Scratch qui permet de placer le parasol sur un point qui représente un nombre donné. Vous n'avez le droit d'utiliser que « reporter un dixième à droite ».</i></p> <p><i>Traduisez le programme à l'aide d'une écriture numérique dans l'espace réponse.</i></p> <p><i>a – le nombre $\frac{4}{2}$</i></p> <p><i>b – le nombre $\frac{1}{2}$</i></p> <p><i>c – le nombre $\frac{28}{10}$</i></p> <p>A la disposition du binôme :</p> <p>Instructions : « reporter un dixième à droite » et « répéter ».</p> <p>Fiche élève 4-2.</p>
Bilan		<p>Le bilan peut se faire pendant le déroulement de l'exercice.</p> <p>Traduire un algorithme à l'aide de l'écriture fractionnaire puis décimale :</p>  <p>→ $5 \times \frac{1}{10} = \frac{5}{10} = 0,5$</p> <p>Pour c, basculer sur la graduation 2 pour vérifier.</p>
Exercice 7		<p>Consigne :</p> <p><i>Ecrivez un programme dans Scratch qui permet de placer le parasol sur un point qui représente un nombre donné. Vous avez le droit d'utiliser que les instructions autorisées. Pour vérifier votre réponse vous pouvez basculer sur la graduation 2. Une instruction ne peut apparaître qu'une seule fois dans le programme.</i></p> <p><i>Traduisez le programme à l'aide d'une écriture numérique dans l'espace réponse.</i></p> <p><i>a – Placer le parasol sur 0,9 en utilisant uniquement « reporter un dixième d'unité »</i></p> <p><i>b – Placer le parasol sur 2,4 en utilisant uniquement « reporter un dixième d'unité »</i></p> <p><i>c – Placer le parasol sur 1,8 en utilisant uniquement « reporter un dixième d'unité »</i></p> <p><i>Bilan 1</i></p> <p><i>d - Placer le parasol sur 1,8 en utilisant uniquement « reporter un demi d'unité » et « un dixième d'unité »</i></p> <p><i>e - Placer le parasol sur 1,8 en utilisant uniquement « reporter un quart d'unité » et « reporter un cinquième d'unité »</i></p> <p><i>Bilan 2</i></p> <p><i>f - Placer le parasol sur 2,8 en utilisant uniquement « reporter un quart d'unité » et « reporter un cinquième d'unité »</i></p> <p><i>g - Placer le parasol sur 2,3 en utilisant uniquement « reporter un quart d'unité » et « reporter un dixième d'unité »</i></p> <p>A la disposition du binôme :</p> <p>Instructions : « reporter ... » et « répéter ».</p> <p>Fiche élève 4-2.</p>
Bilan et institutionnalisation		<p>Traduire les algorithmes à l'aide des écritures fractionnaires et décimales.</p> <p>Travailler les différentes écritures fractionnaires d'un même nombre.</p> <p>Institutionnalisation.</p>

Séance 3

Cette séance est composée de deux phases

Séance 3 - Phase 1 : Associer différentes décompositions additives à un nombre donné

1. Description des situations

Avec le fichier « Sequence 4-3.sb2 » on propose les 12 exercices de la séance.

Ces exercices permettent de travailler différentes décompositions additives d'un nombre, soit donné sous forme d'écriture décimale, soit sous forme de fractions décimales.

On dispose de deux types de compteurs : si le déroulement d'un exercice prend beaucoup de temps avec le compteur prédéfini, on peut basculer sur l'arrière-plan « 'total' avance rapidement » (Figure 3).



Figure 3

Les caractéristiques des exercices

Consigne (Ex de 8 à 13b) :

Ecrivez un ou plusieurs programmes dans Scratch qui permettent d'atteindre la valeur donnée en ajoutant les valeurs autorisées.

Vous pouvez basculer sur l'arrière-plan « 'total' avance rapidement » lorsqu'un exercice prend beaucoup de temps.

Il faut utiliser au moins deux valeurs autorisées.

Traduisez le programme trouvé sous forme d'une écriture additive dans l'espace de réponse.

Exercices	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées						
		milliers	centaines	dizaines	unités	dixièmes	centièmes	millièmes
Exercice 8	5 261	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI	OUI
Exercice 9	4,012	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Exercice 10a	4,012	OUI	OUI	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI
*Exercice 10b	1 214,52	Interdit	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI
Exercice 11	$\frac{32\ 151}{10}$	OUI	Interdit	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI
Exercice 12a	$\frac{84\ 153}{100}$	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI	OUI
*Exercice 12b	$\frac{521\ 203}{1000}$	OUI	OUI	OUI	Interdit	OUI	OUI	OUI

Exercice 13a	432 dizaines 21 dixièmes 7 centièmes	Interdit	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI
*Exercice 13b	127 unités 5 dixièmes 14 millièmes	OUI	OUI	OUI	Interdit	Interdit	Interdit	OUI

2. Déroulement de la séance 3 – phase 1

<i>Durée</i>	<i>Etapas</i>	<i>Activités de l'enseignant / consignes</i>
	Présentation générale Exercice 8	Présenter la situation (Affiche, vidéo projecteur...) Points à présenter : - La consigne. - La fiche élève 4-3. - Les élèves effectuent l'exercice 8. - Correction et mise au point collective. Cet exercice permet de vérifier si les élèves ont compris la consigne.
	Exercices 9 à 10b	Circuler et accompagner les élèves en difficulté Faire le point collectif (si nécessaire) sur l'utilisation du bloc « répéter ». Rappeler qu'on peut basculer sur l'arrière-plan « 'total' avance rapidement » lorsqu'un exercice prend beaucoup de temps.
	Bilan	Le bilan peut se faire dès l'exercice 10a. 1) Corriger collectivement les exercices par exemple sous forme d'un tableau à partir de leurs réponses (cf. tableau ci-dessous) 2) Insister sur le sens des noms donnés aux différentes unités. 41 dixièmes c'est 4 unités et 1 dixième 452 centièmes c'est 4 unités, 5 dixièmes et 8 centièmes 3) Expliquer les relations entre les unités 1 millier = 10 centaines = 100 dizaines = 1000 unités 1 unité = 10 dixièmes = 100 centièmes = 1000 millièmes 4) Explorer les différentes écritures. $4,312 = 4 \text{ unités, } 3 \text{ dixièmes, } 1 \text{ centième et } 2 \text{ millièmes}$ $= (4*1) + (3*1/10) + (1*1/100) + (2*1/1000)$ $= (1+1+1+1) + (1/10+1/10+1/10) + 1/100+(1/1000+1/1000)$ $= 4+0,3+0,01+0,002$
	Exercice 11 à 12b	Circuler et accompagner les élèves en difficulté. Expliquer les relations entre les différentes écritures : Exemples : $\frac{32\ 151}{10} = 3 \text{ milliers, } 215 \text{ unités et } 10 \text{ dizaines} = 3215,1$
	Bilan	Le bilan peut se faire dès l'exercice 12a. Corriger collectivement les exercices par exemple sous forme d'un tableau à partir de leurs réponses.

Exercice 13a à 13b	Circuler et accompagner les élèves en difficulté Expliquer les relations entre les différentes écritures : Exemples : 432 dizaines, 21 dixièmes et 7 centièmes = 432 217 centièmes = $\frac{432\ 217}{100} = 4\ 322,17$
Bilan Général	Le bilan peut se faire dès l'exercice 13a. 1) Corriger collectivement les exercices par exemple sous forme d'un tableau à partir de leurs réponses (cf. tableau ci dessous). 2) Passage d'une unité à une autre unité supérieure ou inférieure de 2 ordres. 3) Eléments de synthèse sur le cahier de l'élève.

Synthèse Ex 8 à 10b		Valeurs autorisées						
Exercices	Nombre à atteindre	milliers	centaines	dizaines	unités	dixièmes	centièmes	millièmes
Exercice 8	5 261	5	Interdit	26	Interdit	10		
Exercice 9	4,012				4	40	1	2 12
Exercice 10a	4,012				Interdit	40	Interdit	12
*Exercice 10b	1 214,52	Interdit	12	Interdit	14	Interdit	52	

Synthèse Ex 11 à 12b		Valeurs autorisées						
Exercices	Nombre à atteindre	milliers	centaines	dizaines	unités	dixièmes	centièmes	millièmes
Exercice 11	$\frac{32\ 151}{10}$	3	Interdit	Interdit	215	Interdit	10	
*Exercice 12a	$\frac{84\ 153}{100}$		Interdit	84	Interdit	15	3	
*Exercice 12b	$\frac{521\ 203}{1000}$		5	2	Interdit	12		3

Synthèse Ex 13a à 13b		Valeurs autorisées						
Exercices	Nombre à atteindre	milliers	centaines	dizaines	unités	dixièmes	centièmes	millièmes
Exercice 13a	432 dizaines 21 dixièmes 7 centièmes	Interdit	43	Interdit	22 4 322	Interdit	17 17	
*Exercice 13b	127 unités 5 dixièmes 14 millièmes		1 1	12 2	Interdit	Interdit	Interdit	7 514 7 514 27 514

Séance 3 - Phase 2 : Décomposition canonique

1. Description des situations

Le fichier est toujours le même : « Sequence 4-3.sb2 ».

Ces exercices permettent de travailler la décomposition canonique d'un nombre décimal.

Les caractéristiques des exercices :

Consigne (Ex de 14 à 16) :

On dispose de cartes avec les valeurs « un millier », « un centaine », « un dizaine », « une unité », « un dixième », « un centième », « un millième ».

Ecrivez un programme qui permet d'atteindre la valeur donnée en ajoutant les valeurs de ces cartes.

Il faut utiliser le moins de cartes possibles.

Traduisez sur votre fiche le programme trouvé sous forme d'une écriture additive.

Exercices	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées						
		milliers	centaines	dizaines	unités	dixièmes	centièmes	millièmes
Exercice 14	1 402,53	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Exercice 15	$\frac{3\ 174}{100}$	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Exercice 16	15 centaines 432 centièmes 6 millièmes	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI

2. Déroulement de la séance 3 – phase 2

Durée	Etapes	Activités de l'enseignant / consignes
	Exercice 14	Corriger collectivement : synthèse sur l'unicité de l'écriture Si nécessaire expliquer la contrainte « <i>utiliser le moins de cartes possible</i> ».
	Exercices 15 à 16	Circuler et accompagner les élèves en difficulté.
	Bilan	Synthèse sur la décomposition additive des nombres et l'écriture canonique. Faire remarquer que pour obtenir le nombre minimum de cartes il ne faut pas avoir plus de 9 cartes d'une même valeur. Revenir sur les relations entre les unités et sur le sens de nombre de centaine.

Annexe 12 : Matériel élèves groupe programmation pour les fractions.

Prénoms :

CM2 - Fiche élève 4-1

Exercice 1a à 1b (Fichier « Séquence 4-1.sb2 »)

Consigne :

*Ecrivez un programme dans Scratch qui permet de mesurer la longueur du bloc à l'aide d'une ou plusieurs bandes parmi celles disponibles.
Traduisez le programme à l'aide d'une écriture numérique dans l'espace réponse.*

Espace de travail

Exercices	Réponses
1a)	<hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
1b)	<hr/> <hr/> <hr/> <hr/>

Exercice 2a (Fichier « Séquence 4-1.sb2 »)

Consignes

Ecrivez un programme dans Scratch qui permet de mesurer la longueur du bloc à l'aide d'une ou plusieurs bandes indiquées.

Traduisez le programme à l'aide d'une écriture numérique dans l'espace réponse.

Espace de travail

Exercices	Réponses
a) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u »
b) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un quart de u »
c) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u »
d) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un dixième de u »
e) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un cinquième de u »
f) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u » et « un tiers de u »
g) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un tiers de u »

Exercice 2b (Fichier « Séquence 4-1.sb2 »)**Consigne :**

Ecrivez un programme dans Scratch qui permet de mesurer la longueur du bloc à l'aide d'une ou plusieurs bandes indiquées.

Traduisez le programme à l'aide d'une écriture numérique dans l'espace réponse.

Espace de travail

Exercices	Réponses
a) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u »
b) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un quart de u »
c) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un dixième de u »
d) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un cinquième de u »

Exercice 3 (Fichier « Séquence 4-1.sb2 »)

Consigne :
*Ecrivez un programme dans Scratch qui permet de mesurer la longueur du bloc à l'aide d'une ou plusieurs bandes indiquées.
 Traduisez le programme à l'aide d'une écriture numérique dans l'espace réponse.*

Espace de travail

Exercices	Réponses
a) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un demi de u » et « un tiers de u »
b) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un quart de u » et « un tiers de u »
c) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un tiers de u »
d) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u » et « un tiers de u »
e) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un cinquième de u » et « un tiers de u »

Exercice 4 (Fichier « Séquence 4-1.sb2 »)**Consigne :**

*Ecrivez un programme dans Scratch qui permet de mesurer la longueur du bloc à l'aide de « un dixième de u ».
Traduisez le programme à l'aide d'une écriture numérique dans l'espace réponse.*

Espace de travail**Espace de réponse****Exercice 5a (Fichier « Séquence 4-1.sb2 »)****Consigne :**

*Ecrivez un programme dans Scratch qui permet de mesurer la longueur du bloc à l'aide d'une ou plusieurs bandes indiquées.
Traduisez le programme à l'aide d'une écriture numérique dans l'espace réponse.*

Espace de travail

Exercices	Réponses
a) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u »
b) Vous n'avez le droit d'utiliser que « u » et « un dixième de u »

Exercice 5b (Fichier « Séquence 4-1.sb2 »)**Consigne :**

Ecrivez un programme dans Scratch qui permet de mesurer la longueur du bloc à l'aide d'une ou plusieurs bandes indiquées.

Espace de travail

Exercices	Réponses
a) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u »
b) Vous n'avez le droit d'utiliser que « u » et « un dixième de u »

Exercice 5c (Fichier « Séquence 4-1.sb2 »)**Consigne :**

Ecrivez un programme dans Scratch qui permet de mesurer la longueur du bloc à l'aide d'une ou plusieurs bandes indiquées.

Espace de travail

Exercices	Réponses
a) Vous n'avez le droit d'utiliser que « un dixième de u »
b) Vous n'avez le droit d'utiliser que « u » et « un dixième de u »

Exercice 6 (Séquence 4-2.sb2)**Consigne :**

Ecrivez un programme dans Scratch qui permet de placer le parasol sur un point qui représente un nombre donné. Vous n'avez le droit d'utiliser que « reporter un dixième à droite ».

Traduisez le programme à l'aide d'une écriture numérique dans l'espace réponse.

Espace de travail

Exercices	Réponses
a) le nombre $\frac{4}{2}$
b) le nombre $\frac{1}{2}$
c) le nombre $\frac{28}{10}$

Exercice 7 (Séquence 4-2.sb2)**Consigne :**

Ecrivez un programme dans Scratch qui permet de placer le parasol sur un point qui représente un nombre donné.

Vous n'avez le droit d'utiliser que les instructions autorisées.

Pour vérifier vos réponses vous pouvez basculer sur la graduation 2.

Une instruction ne peut apparaître qu'une seule fois dans le programme ».

Traduisez le programme à l'aide d'une écriture numérique dans l'espace réponse.

Espace de travail

Conditions	Réponses : indiquez l'écriture à l'aide des fractions utilisées
a) Placer le parasol sur 0,9 en utilisant uniquement « reporter un dixième d'unité »
b) Placer le parasol sur 2,4 en utilisant uniquement « reporter un dixième d'unité »
c) Placer le parasol sur 1,8 en utilisant uniquement « reporter un dixième d'unité »
Bilan 1	
d) Placer le parasol sur 1,8 en utilisant uniquement « reporter un demi d'unité » et « un dixième d'unité »
e) Placer le parasol sur 1,8 en utilisant uniquement « reporter un quart d'unité » et « reporter un cinquième d'unité »
Bilan 2	
f) Placer le parasol sur 2,8 en utilisant uniquement « reporter un quart d'unité » et « reporter un cinquième d'unité »
g) Placer le parasol sur 2,3 en utilisant uniquement « reporter un quart d'unité » et « reporter un dixième d'unité »

Exercices 8 à 10b (Séquence 4-3.sb2)**Consigne :**

Ecrivez un ou plusieurs programmes dans Scratch qui permettent d'atteindre la valeur donnée en ajoutant les valeurs autorisées.

Vous pouvez basculer sur l'arrière-plan « 'total' avance rapidement » lorsqu'un exercice prend beaucoup de temps.

Il faut utiliser au moins deux valeurs autorisées.

Traduisez le programme trouvé sous forme d'une écriture additive dans l'espace de réponse.

Ex	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées						
		milliers	centaines	dizaines	unités	dixièmes	centièmes	millièmes
8	5 261	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI	OUI
9	4,012	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
10a	4,012	OUI	OUI	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI
*10b	1 214,52	Interdit	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI

Espace de travail**Espace de réponses**

	Valeur	Ecriture additive
8)	5 261	
9)	4,012	
10a)	4,012	
10b)	1 214,52	

Exercices 11 à 12b (Séquence 4-3.sb2)**Consigne :**

Ecrivez un ou plusieurs programmes dans Scratch qui permettent d'atteindre la valeur donnée en ajoutant les valeurs autorisées.

Vous pouvez basculer sur l'arrière-plan « total avance rapidement » lorsqu'un exercice prend beaucoup de temps.

Il faut utiliser au moins deux valeurs autorisées.

Traduisez le programme trouvé sous forme d'une écriture additive dans l'espace de réponse.

Ex	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées						
		milliers	centaines	dizaines	unités	dixièmes	centièmes	millièmes
11	$\frac{32\ 151}{10}$	OUI	Interdit	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI
12a	$\frac{84\ 153}{100}$	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI	OUI
*12b	$\frac{521\ 203}{1000}$	OUI	OUI	OUI	Interdit	OUI	OUI	OUI

Espace de travail**Espace de réponses**

	Valeur	Écriture additive
11)	$\frac{32\ 151}{10}$	
12a)	$\frac{84\ 153}{100}$	
12b)	$\frac{521\ 203}{1000}$	

Exercices 13a à 13b (Séquence 4-3.sb2)**Consigne :**

Ecrivez un ou plusieurs programmes dans Scratch qui permettent d'atteindre la valeur donnée en ajoutant les valeurs autorisées.

Vous pouvez basculer sur l'arrière-plan « total avance rapidement » lorsqu'un exercice prend beaucoup de temps.

Il faut utiliser au moins deux valeurs autorisées.

Traduisez le programme trouvé sous forme d'une écriture additive dans l'espace de réponse.

Ex	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées						
		milliers	centaines	dizaines	unités	dixièmes	centièmes	millièmes
13a	432 dizaines 21 dixièmes 7 centièmes	Interdit	OUI	Interdit	OUI	Interdit	OUI	OUI
*13b	127 unités 5 dixièmes 14 millièmes	OUI	OUI	OUI	Interdit	Interdit	Interdit	OUI

Espace de travail**Espace de réponses**

	Valeur donnée	Ecriture additive
13a)	432 dizaines 21 dixièmes 7 centièmes	
13b)	227 unités 5 dixièmes 14 millièmes	

Exercices 14 à 16 (Séquence 4-3.sb2)**Consigne :**

Ecrivez un programme dans Scratch qui permet d'atteindre la valeur donnée en utilisant toutes les valeurs autorisées.

Traduisez le programme trouvé sous forme d'une écriture additive dans l'espace de réponse.

Ex	Valeur à atteindre	Valeurs autorisées						
		milliers	centaines	dizaines	unités	dixièmes	centièmes	millièmes
14	1 402,53	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
15	$\frac{3\ 174}{100}$	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
16	15 centaines 432 centièmes 6 millièmes	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI

Espace de travail**Espace de réponses**

	 Valeur	Ecriture additive
14)	1 402,53	
15)	$\frac{3\ 174}{100}$	
16)	15 centaines 432 centièmes 6 millièmes	

Annexe 13 : Questionnaire élèves administré avant le travail en classe (T1).

PRENOM

CODE ENSEIGNANT :

Nous allons te poser plusieurs questions à propos de ce que tu penses de toi et à propos de l'école. Il faut lire attentivement chaque phrase et cocher la case qui te correspond le mieux. Tu ne dois cocher qu'une seule case par phrase. Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses. Les réponses sont toujours bonnes si tu dis ce que tu penses vraiment.

CE QUE TU PENSES DE TOI A L'ÉCOLE

Les phrases qui suivent parlent de toi à l'école.
Il faut que tu dises si elles sont vraies ou pas pour toi.

	Pas du tout vrai pour moi	Pas vrai pour moi	Un peu vrai pour moi	Vrai pour moi	Tout à fait vrai pour moi
Je suis assez satisfait de moi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
En général, j'aime bien la façon dont je mène ma vie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J'ai peu de raisons d'être fier(e) de moi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J'aime bien le genre de personne que je suis.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Parfois je me sens vraiment inutile.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je suis très content d'être comme je suis.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J'ai l'impression que je suis très bon dans mon travail scolaire.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je me sens aussi intelligent(e) que ceux de mon âge.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je suis plutôt lent(e) pour finir mon travail scolaire.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je suis capable de me rappeler facilement des choses.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je fais très bien mon travail en classe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J'ai beaucoup de mal à trouver les réponses aux questions.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J'ai toujours bien réussi en maths.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Le travail qu'on nous demande en maths est facile pour moi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Comparé aux autres élèves de ma classe, je suis bon en maths.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J'ai de bonnes évaluations en maths.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J'apprends rapidement les choses en maths.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

CE QUE TU AIMES A L'ÉCOLE

Les phrases qui suivent parlent de ce que tu aimes ou pas à l'école
Il faut que tu dises si tu aimes les choses ou pas

	Je n'aime pas du tout	Je n'aime pas	J'aime moyen	J'aime	J'aime beaucoup
A quel point aimes-tu l'école?	<input type="checkbox"/>				
A quel point aimes-tu travailler à l'école ?	<input type="checkbox"/>				
A quel point aimes-tu travailler chez toi ?	<input type="checkbox"/>				
A quel point aimes-tu les mathématiques ?	<input type="checkbox"/>				
A quel point aimes-tu faire des mathématiques à l'école ?	<input type="checkbox"/>				
A quel point aimes-tu faire des mathématiques chez toi ?	<input type="checkbox"/>				

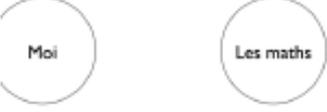
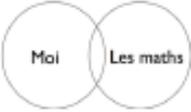
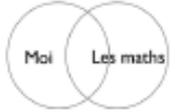
CE QUE TU RESSENS LORSQUE TU FAIS DES MATHÉMATIQUES

Les phrases qui suivent parlent de ce que tu ressens quand tu fais des mathématiques.
Il faut que tu dises ce que tu ressens lorsque tu dois faire des mathématiques en classe.

	Jamais	Quelquefois	Souvent	Tout le temps
Habituellement lorsque je dois faire des mathématiques en classe, j'ai peur.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habituellement lorsque je dois faire des mathématiques en classe, je suis content(e).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habituellement lorsque je dois faire des mathématiques en classe, j'ai envie de pleurer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habituellement lorsque je dois faire des mathématiques en classe, je sens que mon cœur bat vite.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habituellement lorsque je dois faire des mathématiques en classe, j'ai confiance en moi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habituellement lorsque je dois faire des mathématiques en classe, je transpire plus que d'habitude.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

TOI ET LES MATHÉMATIQUES

Il faut que tu t'imagines et que tu penses aux mathématiques. Si tu avais à le dessiner, quel est le dessin que tu choisirais ? Il faut que tu coches la case qui correspond le plus au dessin que tu ferais.

			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

JE FAIS DES MATHÉMATIQUES POUR

Lorsque tu fais des mathématiques, pourquoi est-ce que tu en fais ?
Il faut que tu coches la case qui correspond le plus au dessin que tu ferais.

	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
J'aime faire des maths	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Faire des maths va me permettre d'apprendre beaucoup de choses utiles	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je fais des maths pour obtenir une belle récompense	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Faire des maths m'intéresse beaucoup	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je veux faire des maths pour apprendre plein de choses	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je fais des maths pour faire plaisir à mes parents ou à mon enseignant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je fais des maths même lorsque je ne suis pas obligé de le faire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dans la vie, il est important d'apprendre à faire des maths	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je fais des maths pour montrer aux autres que je suis bon(ne)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Annexe 14 : Questionnaire enseignant administré en ligne, avant le travail en classe (T1).

Q1 Madame, Monsieur,

Merci beaucoup de participer au projet EXPIRE et de remplir ce questionnaire, qui va permettre d'éclairer certaines des analyses des tests des élèves.

Au début de ce questionnaire, indiquez l'identifiant d'anonymat (il ressemble à quelque chose comme e123) qui vous a été envoyé par mail : les réponses que vous donnez à ce questionnaire sont confidentielles, ne sont pas traitées individuellement, et ne sont bien évidemment transmises à personne. Cela vous permet donc de répondre le plus librement possible.

Ce questionnaire interroge vos pratiques professionnelles. Les questions qui sont posées portent sur différentes dimensions : gestes pédagogiques, conception de l'apprentissage, ou encore familiarité avec la didactique des maths et l'informatique. Il n'y a pas de bonnes ou mauvaises réponses, il s'agit de répondre ce que vous pensez. Notre intention est de mieux comprendre comment les différentes choses que vous faites et pensez influencent les processus à l'œuvre dans la classe. Il est donc important de répondre le plus sincèrement possible.

Ce questionnaire prend environ 30 minutes. Assurez vous donc d'avoir 30 minutes de calme devant vous pour le renseigner, sinon vous pouvez vous connecter à un autre moment.

Merci beaucoup encore une fois pour votre participation.

L'équipe de recherche du projet EXPIRE

Merci de cliquer en bas de cette page sur le bouton "suivant" pour passer au questionnaire. Ce questionnaire contient plusieurs pages, vous allez devoir cliquer sur suivant à chaque fin de page jusqu'à ce qu'on message vous indique la fin du questionnaire.

Afin de pouvoir relier vos réponses à d'autres données, merci de rentrer votre code confidentiel :.....

Les ensembles de questions qui suivent portent sur vos pratiques en classe.

Q2 Pour chaque phrase, vous devez indiquer dans quelle mesure vous êtes d'accord avec le fait que ce qui est décrit arrive dans votre classe.

	Pas du tout d'accord (1)	Pas d'accord (2)	Plutôt d'accord (3)	D'accord (4)	Tout à fait d'accord (5)
1. Je laisse du temps à mes élèves pour réfléchir sur la manière dont ils peuvent s'améliorer dans leur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

travail
scolaire. (1)

2. En classe,
après avoir
regardé les
résultats des
contrôles, on
parle des
réponses que
les élèves ont
données. (2)

3. Je fais en
sorte que mes
élèves
sachent
presque
toujours ce
qu'ils doivent
faire et
pourquoi ils
doivent le
faire. (3)

4. J'aide et
j'incite mes
élèves à
réfléchir sur
les moyens de
s'améliorer.
(4)

5. Je laisse du
temps à mes
élèves pour
qu'ils
réfléchissent
sur ce qui
s'est bien
passé et ce
qui s'est mal
passé dans
leur travail.
(5)

6. Mes élèves
savent qu'il
est possible
de poser des
questions
pendant le

cours. (6)

7. Je laisse du temps à mes élèves pour améliorer leurs points faibles. (7)

8. J'encourage mes élèves à repérer ce qu'ils ne savent pas bien faire. (8)

9. En classe, je discute du travail à faire avec mes élèves pour qu'ils comprennent mieux le sens des activités. (9)

10. Après chaque évaluation, j'aiguille mes élèves sur la façon dont ils pourraient s'améliorer la prochaine fois. (10)

11. Je fais en sorte que mes élèves sachent les progrès qu'ils ont réalisés. (11)

12. Je pose des questions qui aident les élèves à mieux

comprendre
le sujet. (12)

Q5 Pour chaque phrase, vous devez indiquer à quelle fréquence vous avez l'impression de réaliser les comportements suivants en classe.

	Jamais (1)	Quelque fois (2)	Souvent (3)	Tout le temps (4)
1. Lorsque j'aborde de nouveaux contenus, je commence par placer mes élèves face à une situation problème ou à leur demander de réfléchir seul. (1)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. En début de séance, j'explique à mes élèves ce qu'ils vont apprendre et travailler. (2)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Lorsque mes élèves font des exercices, je les encourage à construire leurs propres stratégies et procédures pour les résoudre. (3)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. J'encourage mes élèves à trouver par eux-mêmes des moyens de surmonter leurs difficultés. (4)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. En début de séance, je pose des questions à mes élèves pour les aider à se souvenir de ce	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

qui a été abordé dans les séances précédentes. (5)

6. Au cours d'une séance, j'essaie de faire comprendre aux élèves comment les différentes activités proposées sont reliées entre elles. (6)

7. Je laisse mes élèves choisir leur propre démarche pour résoudre une tâche. (7)

8. Quand j'enseigne, je fais en sorte que mes élèves sachent dans quelle partie de la séance nous nous trouvons (début, milieu, fin). (8)

9. J'explique à mes élèves en quoi les nouvelles connaissances abordées sont liées à des choses qu'ils connaissent déjà. (9)

10. Lorsque mes élèves débattent, j'essaie d'intervenir le moins possible. (10)

Q4 Les questions qui suivent nécessitent de donner votre avis sur votre action auprès des élèves.

Indiquez dans quelle mesure chacun des énoncés suivants correspond vraiment à vos conditions de travail.

	Pas du tout vrai (1)	Pas vrai (2)	Un peu vrai (3)	Vrai (4)	Tout à fait vrai (5)
1. Si je travaille vraiment à fond, je pense pouvoir me faire comprendre, y compris des élèves les plus difficiles. (1)	<input type="radio"/>				
2. Je pense être assez bon(ne) pour aider les élèves de ma classe à faire des progrès significatifs. (2)	<input type="radio"/>				
3. Je suis certain(e) de pouvoir apporter quelque chose dans la vie de mes élèves. (3)	<input type="radio"/>				
4. Je me sens capable de résoudre la plupart des problèmes d'apprentissage que peuvent rencontrer les élèves. (4)	<input type="radio"/>				

Q10 A quelle fréquence faites-vous ces comportements dans votre classe :

	Jamais (1)	Rarement (2)	Parfois (3)	Souvent (4)	Presque tout le temps (5)
1. Réaliser des affichages de classe sur des notions essentielles (4)	<input type="radio"/>				

2. Enoncer assez rapidement les objectifs d'apprentissage visés dans la séance (11)



3. Revenir en arrière par rapport à sa progression si la plupart des élèves rencontrent des difficultés (18)



4. Rappeler sous quelle forme les connaissances à mobiliser peuvent être retrouvées (cahier, page web, mémorisées, ...) (5)



5. Donner aux élèves des moyens de pouvoir comprendre et retenir ce qu'ils doivent faire ou apprendre (grille de critères, étapes au tableau, ...) (12)



6. Donner des indices si des élèves ne réussissent pas au bout d'un certain temps (19)



7. Rappeler les connaissances nécessaires en début de séance (6)



8. Montrer aux élèves leurs progrès tout au long de l'activité (encourager l'auto-évaluation, réaliser des feedback fréquents, ...) (13)



9. Diminuer l'aide apportée aux élèves au fur et à mesure qu'ils progressent dans l'apprentissage (20)



10. Proposer de réaliser un exercice afin de réactiver les connaissances nécessaires pour réaliser l'activité (7)



11. Expliquer aux élèves pendant la séance ce qu'ils ont fait et qu'il leur reste à faire pour atteindre l'objectif (14)



12. Donner ou redonner un exemple lorsque les



élèves sont en difficulté (21)

13. Expliquer à haute voix comment faire une activité similaire (8)

14. Donner aux élèves un moyen de savoir où ils en sont dans le déroulement de la séquence d'apprentissage (15)

15. Simplifier la consigne lorsque je vois que les élèves ont des difficultés (22)

16. Identifier des temps de travail consacrés à apprendre à apprendre (par exemple comment fait-on pour comprendre une histoire) (9)

17. Faire connaître aux élèves ce qu'il reste à apprendre dans les séances à venir pour atteindre l'objectif visé (16)

18. Aider le plus rapidement possible un élève en difficulté sur une activité (23)

19. Questionner régulièrement les élèves sur les procédures qu'ils utilisent (10)

20. Réviser régulièrement certaines compétences développées plus tôt dans l'apprentissage (17)

21. Signaler des erreurs sans attendre la fin d'un exercice (24)

Q8 Voici maintenant quelques questions sur vous et votre parcours. N'oubliez pas, vos réponses resteront confidentielles.

Q12 Vous êtes :

- Une femme (1)
- Un homme (2)
- Ne souhaite pas répondre (3)

Q17 Quelle est votre formation universitaire initiale ?

▼ Art, lettres et langues (1) ... Autre (6)

Q14 Merci d'indiquer votre plus haut niveau d'étude dans cette formation :

▼ Baccalauréat (1) ... Bac +8 (Doctorat) (6)

Q15 Quelques questions sur vous (bougez le curseur avec votre souris pour répondre) :

0 7 13 20 26 33 39 46 52 59 65

Quel âge avez-vous ? (4)	
Depuis combien d'années exercez-vous le métier d'enseignant dans l'éducation nationale ? (8)	
Depuis combien d'années êtes-vous dans cette école ? (5)	
Combien d'années avez-vous eu ce cycle (CM1 ou CM2) ? (6)	

Q18 Et enfin pour terminer, merci de répondre à ces quelques questions sur vous et les mathématiques, l'informatique, et la formation EXPIRE.

Q24 Vous, les mathématiques et l'informatique dans votre quotidien personnel et le quotidien de votre classe :

	1 (1)	2 (2)	3 (3)	4 (4)	5 (5)
Vous vous sentez à l'aise avec les mathématiques (1)	<input type="radio"/>				
Vous vous sentez à l'aise avec l'informatique (2)	<input type="radio"/>				
Vous utilisez souvent l'informatique pour des raisons personnelles (4)	<input type="radio"/>				
Vous savez utiliser les outils de bureautique (traitement de texte, navigateur internet, ...) (6)	<input type="radio"/>				

Vous savez créer des ressources (site web, ...) (7)	<input type="radio"/>				
Vous savez programmer (8)	<input type="radio"/>				
Vous utilisez souvent l'informatique dans la classe (12)	<input type="radio"/>				
Vous utilisez souvent l'informatique dans la classe pour travailler les mathématiques (13)	<input type="radio"/>				
Vous avez déjà utilisé le logiciel de programmation <i>Scratch</i> dans le cadre de mon enseignement (9)	<input type="radio"/>				
Vous savez créer des programmes sur <i>Scratch</i> (15)	<input type="radio"/>				

Q23 Lorsque que vous élaborez et mettez en oeuvre une séquence d'enseignement en mathématiques, avez-vous l'impression de passer du temps à :

	1 (11)	2 (12)	3 (13)	4 (14)	5 (15)
Identifier a priori les procédures que les élèves vont utiliser (1)	<input type="radio"/>				

Identifier a priori les erreurs que les élèves pourraient faire (2)

Choisir les valeurs (type d'instruments, valeurs des nombres, ...) dans les exercices (3)

Q19 Dans les 5 dernières années, combien de modules de formation de maths avez-vous suivis ?

Q21 A propos de la formation EXPIRE :

	1 (18)	2 (23)	3 (24)	4 (20)	5 (21)
Avant la formation EXPIRE, vous maîtrisiez les principes didactiques sous-jacents aux séquences qui vous ont été présentées. (12)	<input type="radio"/>				
En sortant de la formation EXPIRE, vous aviez l'impression de maîtriser de la séquence de la division euclidienne. (13)	<input type="radio"/>				
En sortant de la formation EXPIRE, vous aviez l'impression de maîtriser de la séquence de	<input type="radio"/>				

décomposition
des nombres
entiers. (2)

En sortant de la
formation
EXPIRE, vous
aviez
l'impression de
maîtriser de la
séquence des
fractions. (3)



En sortant de la
formation
EXPIRE, vous
aviez
l'impression de
maîtriser de la
séquence
résolution de
problème. (11)



Si concerné : en
sortant de la
formation
EXPIRE, vous
aviez
l'impression de
maîtriser
suffisamment
Scratch pour
mener à bien les
séquences de
mathématiques
proposées. (15)



Si concerné : en
sortant de la
formation
EXPIRE, vous
aviez
l'impression de
maîtriser
suffisamment
Scratch pour
mener à bien
des séquences
supplémentaires
de type
créativité. (16)



Q9 Merci de nous signaler tout commentaire que vous auriez sur les questions que nous venons de vous poser.

Q26

Merci encore pour votre participation. N'hésitez pas à nous contacter si vous avez des questions. N'oubliez pas de cliquer sur le bouton "suivant" pour valider toutes les réponses que vous nous avez données.

Bien cordialement,

L'équipe de recherche du projet EXPIRE

Annexe 15 : Consignes de passation et test initial de mathématiques (T1)

Consignes générales de passation du questionnaire et du test de niveau

octobre 2017

Comme indiqué lors des formations, nous avons besoin d'informations sur vos élèves qui sont complémentaires de celles qui seront recueillies à travers les pre- et post-tests des séquences.

Ces informations sont recueillies en 2 moments séparés, avant de débiter les séquences, par :

- 1) un questionnaire où l'élève répond à des questions sur lui et l'école (~15-20 minutes tout compris) ;
- 2) puis un test de niveau en maths / résolution de problème (~30-40 minutes tout compris).

Il est important de commencer par le questionnaire, afin que les réponses ne soient pas influencées par le test de niveau.

1. Consignes de passation pour le questionnaire élève

Il n'y a pas de minutage, il suffit de présenter le questionnaire, par exemple de la façon suivante :

"Je vais vous demander votre avis sur vous et l'école. Ce n'est pas un exercice. C'est juste pour savoir ce que vous pensez. Il n'y a pas de bonnes ni de mauvaises réponses. Vos réponses seront toujours bonnes si vous dites ce que vous pensez réellement".

Si vous le pensez nécessaire, vous pouvez également expliquer la façon dont ils vont devoir répondre (cocher, entourer, etc.), et/ou donner un exemple au tableau avec une phrase fictive.

N'oubliez pas d'indiquer sur chaque test le numéro d'anonymat (qui ressemble à e123) envoyé par mail, et de vérifier que les élèves ont bien indiqué leur prénom (avec l'initiale du nom s'il y a des homonymes) sur toutes les pages.

2. Consignes de passation pour le test de niveau (à faire après le questionnaire élève)

Les exercices ne constituent pas un examen ou une épreuve qui aurait pour objet de classer les élèves ou les écoles les uns par rapport aux autres. Il est donc essentiel de veiller à présenter aux élèves de la façon la plus simple, mais aussi la plus rassurante, ce qu'on attend d'eux, afin qu'ils n'éprouvent pas d'appréhension, ce qui risquerait de nuire à leur travail. On pourra leur dire par exemple :

« Pour mieux connaître ce que vous savez faire, je vous demande de répondre aux différentes questions. Certaines sont faciles, d'autre moins ; essayez de répondre le mieux possible. »

Les consignes de passation (cf. ci-dessous) sont destinées à uniformiser autant que possible les conditions de la prise d'informations, de façon à placer tous les élèves dans la même situation. Merci de les suivre donc. Vous pouvez cependant adapter quelque peu le temps nécessaire à la réalisation des exercices (de l'ordre de 10%), en fonction de vos élèves et des éventuelles difficultés rencontrées, dans la mesure toutefois du respect du temps total imparti à chaque séquence. Les élèves doivent écrire au stylo (pas au crayon à papier) directement sur la feuille d'exercices et ne pas utiliser d'autre brouillon. Si un élève vous demande des explications ou des informations complémentaires, ne lui donnez aucun

élément de réponse ni information susceptible d'orienter sa réponse. Si la consigne s'avère incomprise en raison d'un problème de vocabulaire, expliquez juste le mot incompris.

Les exercices sont repris ou inspirés d'évaluations nationales et leur durée est normalement de 26 minutes de temps de travail pour les élèves.

Dans ces tests, le travail se fait individuellement.

N'oubliez pas d'indiquer sur chaque test votre numéro d'anonymat (qui ressemble à e123) et de vérifier que les élèves ont bien indiqué leur prénom (avec l'initiale du nom s'il y a des homonymes) sur toutes les pages.

Exercices 1 à 3 (*repérer nombres, etc.*)

Dire aux élèves :

« 1) Écrivez sur les pointillés les deux nombres repérés par les flèches »

« 2) Indiquez par une flèche la position du nombre 70 »

« 3) Parmi les nombres 317, 290, 430, 340, 34, 395 entourez ceux qui sont compris entre 300 et 400 »

Durée totale pour les 3 exercices : 2 minutes

Exercices 4 à 7 (*calculs*)

Dire aux élèves : « Effectuez les quatre exercices »

Durée totale pour les 4 exercices : 3 minutes

Exercice 8 ("*Les parents d'Agnès ...*")

Dire aux élèves : « Vous devez lire et résoudre le problème. Vous effectuerez vos calculs dans le cadre "Espace de travail" et vous écrivez votre réponse dans le cadre "Espace de réponse" »

Durée totale de l'exercice : 2 minutes

Exercice 9 ("*Luc et Marie ...*")

Dire aux élèves : « Vous devez lire et résoudre le problème. Vous effectuerez vos calculs dans le cadre "Espace de travail" et vous écrivez votre réponse dans le cadre "Espace de réponse" »

Durée totale de l'exercice : 3 minutes

Exercice 10 ("*Un enfant compte son argent de poche ...*")

Dire aux élèves : « Vous devez lire et résoudre le problème. Vous effectuerez vos calculs dans le cadre "Espace de travail" et vous écrivez votre réponse dans le cadre "Espace de réponse" »

Durée totale de l'exercice : 5 minutes

Exercice 11 ("*Un entrepreneur doit expédier ...*")

Dire aux élèves : « Vous devez lire et résoudre le problème. Vous effectuerez vos calculs dans le cadre "Espace de travail" et vous écrivez votre réponse dans le cadre "Espace de réponse" »

Durée totale de l'exercice : 5 minutes

Exercice 12 ("*Chloé a 38 € dans son porte-monnaie ...*")

Dire aux élèves : « Vous devez lire et résoudre le problème. Vous effectuerez vos calculs dans le cadre "Espace de travail" et vous écrivez votre réponse dans le cadre "Espace de réponse" »

Durée totale de l'exercice : 6 minutes

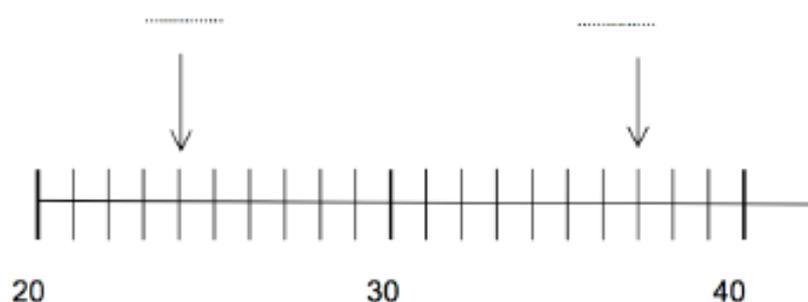
Code enseignant :

Prénom élève : _____ Année de naissance : _____

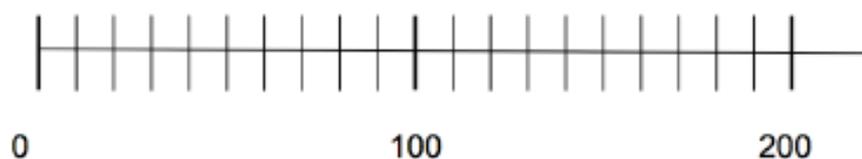
Sexe : Masculin/Féminin

Exercices 1 à 3

1) *Écris sur les pointillés les deux nombres repérés par les flèches.*



2) *Indique par une flèche la position du nombre 70*



3) *Parmi les nombres suivants, entoure ceux qui sont compris entre 300 et 400.*

317, 290, 430, 340, 34, 395

Prénom élève : _____

Exercices 4 à 7

4) *Calcule*

$$\begin{array}{r} 392 \\ + \quad 45 \\ \hline \end{array}$$

5) *Pose et calcule*: $308 + 63$



6) *Calcule*: $38 - 13$

7) *Calcule* :

$$2 \times 9 = \dots\dots \quad 5 \times 4 = \dots\dots \quad 7 \times 8 = \dots\dots$$

Prénom élève : _____

Exercice 8

8) *Les parents d'Agnès ont acheté un fauteuil et une lampe. Le fauteuil a coûté 76 € et la lampe 34 €. Combien les parents d'Agnès ont-ils payé ?*

Espace de travail

Espace de réponse

Prénom élève : _____

Exercice 9

9) *Luc et Marie collectionnent les timbres. Luc possède 140 timbres, il a 8 timbres de plus que Marie. Combien Marie possède-t-elle de timbres ?*

Espace de travail

Espace de réponse

Prénom élève : _____

Exercice 10

10) *Un enfant compte son argent de poche. Il a 2 billets de 10 €, 4 pièces de 2 €, 7 pièces de 1 €.
Il veut échanger tout cet argent contre des billets de 5 €.
Combien de billets de 5 € lui donnera-t-on en échange de tout cet argent ?*

Espace de travail

Espace de réponse

Prénom élève : _____

Exercice 11

11) *Un entrepreneur doit expédier 25 colis à un client. Il a deux possibilités pour faire livrer les colis :*

- *par bateau, en mettant tous les colis dans un container ;*
- *par la route, en mettant tous les colis dans un camion.*

Le prix total du transport par bateau est de 420 euros par container, mais il partage le prix pour moitié avec un autre entrepreneur.

Le prix du transport par camion est de 8 euros par colis. Quel mode de livraison sera le plus économique ?

Espace de travail



Espace de réponse

Prénom élève : _____

Exercice 12

12) *Chloé a 38 € dans son porte-monnaie.*

1) *Hélas ! Elle ne peut pas acheter une robe car il lui manque 13 €. Combien coûte cette robe ?*

2) *Sa grand-mère lui offre une somme d'argent qui lui permet d'acheter cette robe. Il lui reste 7 euros. Quelle somme d'argent lui a-t-elle offerte ?*

Espace de travail

Espace de réponse

Annexe 16 : Prétest, séance division euclidienne (T2)

Séquence 1 – pre-test

Code enseignant :

Prénom élève :

Exercice 1 <i>Quatre copains se partagent 56 billets. Combien de billets auront-ils chacun ?</i>
Espace de travail
Espace de réponse

Exercice 2 <i>Une voiture peut transporter au maximum 6 caisses à la fois. Il faut transporter 33 caisses. Calcule combien de fois la voiture devra être chargée.</i>
Espace de travail
Espace de réponse

Prénom élève :

Exercice 3

*Nicolas a un sac de 214 bonbons. Il veut offrir équitablement le maximum de bonbons à ses 16 copains.
Combien gardera-t-il pour lui ?*

Espace de travail



Espace de réponse

Exercice 4

Marc a collé 448 timbres dans un album. Il y a 32 timbres sur chaque page. Combien de pages ont été remplies ?

Espace de travail

Espace de réponse

Prénom élève :

Exercice 5

Un transporteur doit livrer 85 tonnes de sable à une entreprise qui fabrique du béton, avec son camion qui permet de transporter 5 tonnes à chaque voyage.

Ce transporteur a commencé sa livraison et il a déjà effectué 9 voyages.

- a) Combien a-t-il déjà livré de sable ?*
- b) Combien lui reste-t-il de sable à livrer ?*
- c) Combien doit-il encore effectuer de voyages ?*

Espace de travail

Espace de réponse

- a).....
- b).....
- c).....



Annexe 17 : Posttest, séance division euclidienne (T3)

Séquence 1 – Post-test

Code enseignant :

Prénom élève :

Exercice 1 <i>Une fleuriste vient de recevoir 42 roses. Elle veut confectionner des bouquets contenant trois roses chacun. Combien de bouquets peut-elle confectionner ?</i>
Espace de travail
Espace de réponse

Exercice 2 <i>38 élèves mangent à la cantine à des tables de 4. Combien faut-il de tables ?</i>
Espace de travail
Espace de réponse

Exercice 3

*Un chocolatier dispose de 232 chocolats. Il souhaite les ranger dans des boîtes pouvant contenir 15 chocolats. Les boîtes doivent être complètes.
Combien de chocolats va-t-il rester ?*

Espace de travail**Espace de réponse****Exercice 4**

*On organise un voyage scolaire pour 468 élèves d'un collège. Chaque bus a 36 places.
Combien de bus faut-il ?*

Espace de travail**Espace de réponse**

Exercice 5

Le directeur d'une école veut distribuer équitablement 112 dictionnaires dans des classes. Il souhaite précisément fournir 7 dictionnaires par classe.

Les dictionnaires ont déjà été placés dans 7 classes.

- a) Combien de dictionnaires a-t-il déjà placé ?*
- b) Combien reste-t-il de dictionnaires à distribuer ?*
- c) Combien reste-t-il de classes à fournir ?*

Espace de travail**Espace de réponse**

a).....

b).....

c).....

Annexe 18 : Prétest, séance décomposition additive (T4)

Séquence 2 – Pré-test

Code enseignant :

Prénom élève :

Partie A

Exercice 1

- a) *Indique le nombre de milliers du nombre 34 523.*
- b) *Indique le nombre de dizaines du nombre 34 523.*

Espace de travail

Espace de réponse

- a) Le nombre de milliers du nombre 34 523 est :
- b) Le nombre de dizaines du nombre 34 523 est :

Exercice 2

Ecris le nombre suivant en chiffres :
4 milliers 5 unités 3 dizaines

Espace de travail

Espace de réponse

4 milliers 5 unités 3 dizaines =

Exercice 3

Camille veut prélever au guichet de sa banque la somme de 12 050 euros. La banque ne dispose que de billets de 100 euros et de 10 euros, et le guichet a été conçu de manière à donner le nombre minimum de billets.

Combien de billets de 100 euros et de billets de 10 euros aura-t-elle ?

Espace de travail**Espace de réponse**

Camille aura billets de 100 euros et billets de 10 euros.

Exercice 4

Voici trois nombres :

1) *5 milliers 367 centaines 23 dizaines 64 unités*

Indique le nombre de milliers.

2) *4 milliers 482 centaines 63 dizaines 261 unités*

Indique le nombre de milliers.

3) *4 milliers 482 centaines 63 dizaines 261 unités*

Indique le nombre de centaines.

Espace de travail**Espace de réponse**

1) Le nombre de milliers est :

2) Le nombre de milliers est :

3) Le nombre de centaines est :

Exercice 5

Lors de la vente d'un appartement, un agent immobilier reçoit d'un acheteur le montant suivant : 4 milliers de dollars, 712 centaines de dollars et 170 dollars.

Le vendeur ne souhaite recevoir que des billets de 10 000 dollars, 1 000 dollars et 10 dollars. Aide l'acheteur à constituer le montant de l'appartement en utilisant le nombre minimum de billets de 10 000 dollars, 1 000 dollars et 10 dollars.

**Espace de travail****Espace de réponse**

L'acheteur va utiliser :

..... billets de 10 000 dollars,

..... billets de 1 000 dollars et

..... billets de 10 dollars.

Annexe 19 : Post-test, séance décomposition additive (T5)

Séquence 2 – Post-test

Code enseignant :

Prénom élève :

Exercice 1

- a) *Indique le nombre de milliers du nombre 51 904.*
- b) *Indique le nombre de dizaines du nombre 51 904.*

Espace de travail

Espace de réponse

a) Le nombre de milliers du nombre 51 904 est :

b) Le nombre de dizaines du nombre 51 904 est :

Exercice 2

Ecris le nombre suivant en chiffres :
9 unités 6 milliers 2 centaines

Espace de travail

Espace de réponse

9 unités 6 milliers 2 centaines =

Exercice 3

Pour un match de sport on a prévu de vendre 24 560 billets. On va produire des carnets de 1 000 billets et des carnets de 10 billets à distribuer aux magasins pour les préventes. De combien de carnets aurons-nous besoin au minimum ?

Espace de travail**Espace de réponse**

Nous aurons besoin de carnets de 1 000 billets et de carnets de 10 billets.

Exercice 4

Voici trois nombres :

- 1) 7 milliers 250 centaines 61 dizaines 12 unités
Indique le nombre de milliers.*
- 2) 3 milliers 274 centaines 132 dizaines 463 unités
Indique le nombre de milliers.*
- 3) 3 milliers 274 centaines 132 dizaines 463 unités
Indique le nombre de centaines.*

Espace de travail**Espace de réponse**

- 1) Le nombre de milliers est :*
- 2) Le nombre de milliers est :*
- 3) Le nombre de centaines est :*

Exercice 5

A la fermeture de son supermarché, Alfred compte les billets présents en caisse. Il trouve le montant suivant : 16 milliers de dollars, 421 centaines, 123 dizaines et 250 dollars.

Le jour d'après il se rend à la banque pour échanger ce montant ; il ne souhaite recevoir que des billets de 10 000 dollars, de 100 dollars et 10 dollars et il souhaite recevoir le moins de billets au total. Combien de billets aura-t-il ?

Espace de travail**Espace de réponse**

Alfredo aura :

..... billets de 10 000 dollars,

..... billets de 100 dollars et

..... billets de 10 dollars.

Annexe 20 : Prétest, séance fractions (T6)

Séquence 4 – Pré-test

Exercice 1

On souhaite mesurer la longueur du mur de la salle de classe. Cette longueur est couverte par 8 carreaux de même longueur.

a) Gilles veut mesurer la salle à l'aide d'une tige dont la longueur est $\frac{1}{2}$ de la longueur d'un carreau. Combien de fois faut-il reporter la tige ?

b) Marcus dispose d'une tige dont la longueur est $\frac{1}{3}$ de la longueur d'un carreau. Combien de fois faut-il reporter la tige ?

Espace de travail

Espace de réponse

a).....

b).....

Exercice 2

Baptiste mesure une table avec une bande unité. Elle a mesuré 4 unités et $\frac{2}{3}$ d'unité.

- a) Si on ne dispose que d'une tige qui mesure $\frac{1}{3}$ d'unité, combien de fois faut-il reporter la tige ?
- b) Si on ne dispose que de deux tiges qui mesurent $\frac{1}{10}$ d'unité et $\frac{1}{3}$ d'unité, combien de fois faut-il reporter les deux tiges ?

Espace de travail**Espace de réponse**

- a) Il faut reporter la tige fois.
- b) Il faut reporter fois la tige de $\frac{1}{10}$ d'unité et fois la tige de $\frac{1}{3}$ d'unité.

Exercice 3

Speedo fait des bonds de $\frac{18}{10}$ et Speeda de $\frac{27}{10}$.

Indique sur la ligne où chacun arrive après un saut.

**Espace de travail**

Exercice 4

Une bouteille contient 3,5 litres d'eau.

- a) Si on transfère l'eau dans des verres d'un quart de litre chacun, combien de verres seront remplis ?*
- b) Si on transfère l'eau dans des verres d'un cinquième de litre et dans des bouteilles d'un demi litre, combien de verres et de bouteilles seront remplis ?*

Espace de travail

Espace de réponse

- a).....
- b).....
-
-

Exercice 5

Le prix d'une tablette est de 214,25 euros. Michel veut l'acheter en utilisant uniquement de billets de 10 euros et des pièces de 0.1 euros (10 centièmes) et des pièces de 0.01 euros (un centième). Peux-tu l'aider à constituer la somme ?

Espace de travail**Espace de réponse**

Michael va utiliser billets de 10 euros, pièces de 0.1 euros et pièces de 0.01 euros.

Exercice 6

Cécile a finalement rempli sa tirelire. Elle l'ouvre et trouve le montant suivant : 21 dizaines d'euros, 113 dixièmes d'euro et 25 centimes d'euro. Elle veut échanger ce montant avec des billets de 10 euros, des pièces 1 euros et des pièces de 0.01 euros (un centième). Elle en souhaite avoir le nombre minimum. Combien de pièces aura-t-elle ?

Espace de travail**Espace de réponse**

Cécile aura billets de 10 euros, pièces de 1 euro et pièces de 0.01 euros.

Annexe 21 : Post-test, séance fractions (T7)

Séquence 4 – Post-test

Exercice 1

La mère de Christophe veut confectionner des colliers identiques à partir d'un fil. La longueur de ce fil est couverte par 7 tiges de même longueur.

- a) Si la longueur des colliers est $\frac{1}{2}$ de la longueur d'une tige, combien de colliers on obtient ?*
- b) Si la longueur des colliers est $\frac{1}{3}$ de la longueur d'une tige, combien de colliers on obtient ?*

Espace de travail

Espace de réponse

- a).....
- b).....

Exercice 2

Sophie mesure une commode avec une bande unité. Elle a mesuré 6 unités et $\frac{1}{3}$ d'unité.

- a) Si on ne dispose que d'une tige qui mesure $\frac{1}{3}$ d'unité, combien de fois faut-il reporter la tige ?
- b) Si on ne dispose que de deux tiges qui mesurent $\frac{1}{10}$ d'unité et $\frac{1}{3}$ d'unité, combien de fois faut-il reporter les deux tiges ?

Espace de travail**Espace de réponse**

- a) Il faut reporter la tige fois.
- b) Il faut reporter fois la tige de $\frac{1}{10}$ d'unité et fois la tige de $\frac{1}{3}$ d'unité.

Exercice 3

Speedo fait des bonds de $\frac{23}{10}$ et Speeda de $\frac{14}{10}$.

Indique sur la ligne où chacun arrive après un saut.

**Espace de travail**

Exercice 4

Le couloir de la maison de Pascale mesure 5,5 mètres.

- a) Si Pascale fait des pas d'un quart de mètre chacun, avec combien de pas il parcourt le couloir ?*
- b) La petite sœur de Pascale parcourt le couloir en ne faisant que des pas d'un cinquième de mètre et des sauts d'un demi mètre. Combien de pas et de sauts seront nécessaires ?*

Espace de travail**Espace de réponse**

- a).....
- b).....
-
-

Exercice 5

A la fin du séjour, Antoine doit payer la facture de l'hôtel qui s'élève à 299,53 euros. Il dispose uniquement de billets de 10 euros et des pièces de 1 euro et des pièces de 0.01 euros (un centième). Peux-tu l'aider à constituer la somme ?

Espace de travail

Espace de réponse

Antoine va utiliser billets de 10 euros, pièces de 1 euro et pièces de 0.01 euros.

Exercice 6

*Isabelle trouve dans la caisse de sa boutique le montant suivant :
14 dizaines d'euros, 205 dixièmes d'euro et 49 centimes d'euro.
Elle veut échanger ce montant avec des billets de 10 euros, des pièces de 0.1 euros (10 centièmes) et des pièces de 0.01 euros (un centième). Elle en souhaite avoir le nombre minimum. Combien de pièces aura-t-elle ?*

Espace de travail

Espace de réponse

Isabelle aura billets de 10 euros, pièces de 0.1 euros et pièces de 0.01 euros.

Annexe 22 : Test de mathématiques pour le score final (T8)

Test final

Exercice 1

Une école veut acheter 24 nouveaux bureaux pour une salle de classe. Il y a deux entreprises qui vendent les bureaux.

- La première entreprise vend les bureaux 12 euros chacun
- La deuxième entreprise vend un lot de 48 bureaux pour 500 euros.

Dans le deuxième cas l'école partagera l'achat avec une autre école et payera donc la moitié du prix.

Quelle entreprise est la plus économique ?

Espace de travail

Espace de réponse

Exercice 2

Un grossiste doit livrer un grand colis contenant des caisses d'eau de deux différentes tailles : les caisses plus grandes pèsent 16 kg chacune et les petites pèsent la moitié.

Le colis pèse 432 kg. Si on a 23 caisses grandes, combien de caisses petites y-a-t-il ?

Espace de travail

Espace de réponse

Exercice 3

Une couturière a 62 petites boules de laine. Elle va fabriquer des chapeaux et des écharpes de façon à pouvoir gagner le plus d'argent possible. Elle utilise 6 petites boules de laine pour faire un chapeau et 10 pour faire une écharpe.

Elle vendra :

- *les chapeaux 4 euros pièce ;*
- *les écharpes 7 euros pièce.*

Combien va-t-elle fabriquer de chapeaux et d'écharpes ?

Espace de travail**Espace de réponse**

Annexe 23 : Questionnaire élèves administré après le travail en classe (T9).

PRENOM

CODE ENSEIGNANT :

Nous allons te poser plusieurs questions à propos de ce que tu penses de toi et à propos de l'école. Il faut lire attentivement chaque phrase et cocher la case qui te correspond le mieux. Tu ne dois cocher qu'une seule case par phrase. Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses. Les réponses sont toujours bonnes si tu dis ce que tu penses vraiment.

CE QUE TU PENSES DE TOI A L'ÉCOLE

Les phrases qui suivent parlent de toi à l'école.

Il faut que tu dises si elles sont vraies ou pas pour toi.

	Pas du tout vrai pour moi	Pas vrai pour moi	Un peu vrai pour moi	Vrai pour moi	Tout à fait vrai pour moi
Je suis assez satisfait de moi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
En général, j'aime bien la façon dont je mène ma vie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J'ai peu de raisons d'être fier(e) de moi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J'aime bien le genre de personne que je suis.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Parfois je me sens vraiment inutile.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je suis très content d'être comme je suis.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J'ai l'impression que je suis très bon dans mon travail scolaire.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je me sens aussi intelligent(e) que ceux de mon âge.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je suis plutôt lent(e) pour finir mon travail scolaire.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je suis capable de me rappeler facilement des choses.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je fais très bien mon travail en classe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J'ai beaucoup de mal à trouver les réponses aux questions.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J'ai toujours bien réussi en maths.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Le travail qu'on nous demande en maths est facile pour moi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Comparé aux autres élèves de ma classe, je suis bon en maths.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J'ai de bonnes évaluations en maths.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J'apprends rapidement les choses en maths.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

CE QUE TU AIMES A L'ÉCOLE

Les phrases qui suivent parlent de ce que tu aimes ou pas à l'école
Il faut que tu dises si tu aimes les choses ou pas

	Je n'aime pas du tout	Je n'aime pas	J'aime moyen	J'aime	J'aime beaucoup
A quel point aimes-tu l'école ?	<input type="checkbox"/>				
A quel point aimes-tu travailler à l'école ?	<input type="checkbox"/>				
A quel point aimes-tu travailler chez toi ?	<input type="checkbox"/>				
A quel point aimes-tu les mathématiques ?	<input type="checkbox"/>				
A quel point aimes-tu faire des mathématiques à l'école ?	<input type="checkbox"/>				
A quel point aimes-tu faire des mathématiques chez toi ?	<input type="checkbox"/>				

CE QUE TU RESSENS LORSQUE TU FAIS DES MATHÉMATIQUES

Les phrases qui suivent parlent ce que tu ressens quand tu fais des mathématiques.
Il faut que tu dises ce que tu ressens lorsque tu dois faire des mathématiques en classe.

	Jamais	Quelquefois	Souvent	Tout le temps
Habituellement lorsque je dois faire des mathématiques en classe, j'ai peur.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habituellement lorsque je dois faire des mathématiques en classe, je suis content(e).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habituellement lorsque je dois faire des mathématiques en classe, j'ai envie de pleurer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habituellement lorsque je dois faire des mathématiques en classe, je sens que mon cœur bat vite.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habituellement lorsque je dois faire des mathématiques en classe, j'ai confiance en moi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habituellement lorsque je dois faire des mathématiques en classe, je transpire plus que d'habitude.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

TOI ET LES MATHÉMATIQUES

Il faut que tu t'imagines et que tu penses aux mathématiques. Si tu avais à le dessiner, quel est le dessin que tu choisirais ? Il faut que tu coches la case qui correspond le plus au dessin que tu ferais.

 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>
 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>

JE FAIS DES MATHÉMATIQUES POUR

Lorsque tu fais des mathématiques, pourquoi est-ce que tu en fais ?
Il faut que tu coches la case qui correspond le plus au dessin que tu ferais.

	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
J'aime faire des maths	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Faire des maths va me permettre d'apprendre beaucoup de choses utiles	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je fais des maths pour obtenir une belle récompense	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Faire des maths m'intéresse beaucoup	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je veux faire des maths pour apprendre plein de choses	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je fais des maths pour faire plaisir à mes parents ou à mon enseignant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je fais des maths même lorsque je ne suis pas obligé de le faire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dans la vie, il est important d'apprendre à faire des maths	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je fais des maths pour montrer aux autres que je suis bon(ne)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

EST-CE QUE ÇA ARRIVE QUAND TU FAIS DES MATHÉMATIQUES ?

Pour chaque phrase, tu dois dire dans quelle mesure tu es d'accord pour dire que ce qui est décrit arrive dans ta classe **LORSQUE TU FAIS DES MATHÉMATIQUES**

	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Un peu d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord
J'ai du temps pour réfléchir sur la manière dont je peux m'améliorer dans mon travail scolaire.	<input type="checkbox"/>				
Après avoir regardé les résultats des contrôles, on peut discuter des réponses que j'ai données.	<input type="checkbox"/>				
Je sais presque toujours ce que je dois faire et pourquoi je dois le faire.	<input type="checkbox"/>				
Je dois penser à comment m'améliorer la prochaine fois.	<input type="checkbox"/>				
J'ai le temps de réfléchir à ce qui s'est bien passé et ce qui s'est mal passé dans mon travail.	<input type="checkbox"/>				
Il est possible de poser des questions pendant le cours.	<input type="checkbox"/>				
J'ai du temps pour améliorer mes points faibles.	<input type="checkbox"/>				
Je suis encouragé à repérer ce que je ne sais pas bien faire.	<input type="checkbox"/>				
On discute du travail à faire pour mieux comprendre de quoi il est question.	<input type="checkbox"/>				
Après chaque évaluation, j'ai une idée de comment m'améliorer la prochaine fois.	<input type="checkbox"/>				
Souvent je sais les progrès que je fais.	<input type="checkbox"/>				
On me pose des questions qui m'aident à mieux comprendre le sujet.	<input type="checkbox"/>				

Annexe 24 : Questionnaire enseignants administré en ligne, après le travail en classe (T9).

Q1

Madame, Monsieur,

Merci beaucoup de prendre du temps pour répondre à ces questions. Nous savons que le temps d'investissement dans ce projet est important et nous vous remercions encore une fois.

Les questions auxquelles vous allez répondre ont pour objectif de recueillir vos impressions et ressentis sur les séquences que vous avez menées dans le cadre du projet EXPIRE avec les élèves. En effet, vous seul(e)s étiez dans la classe et les renseignements que vous pouvez nous donner seront précieux pour analyser et mieux comprendre les résultats relatifs aux performances des élèves. Les questions portent sur les séquences d'enseignement proprement dites, répondez-donc sans prendre en compte les aspects liés au protocole (pre- post-tests, etc.).

Pour mémoire, vos réponses seront rendues anonymes : l'information qui est traitée c'est le couple (réponses des élèves aux tests, phénomènes dans la classe), et pas le travail de l'enseignant.

Merci encore une fois pour votre participation.

L'équipe de recherche du projet EXPIRE

Merci de cliquer en bas de cette page sur le bouton "suivant" pour passer au questionnaire. Ce questionnaire contient plusieurs pages, vous allez devoir cliquer sur suivant à chaque fin de page jusqu'à ce qu'un message vous indique la fin du questionnaire.

Q29 Afin de pouvoir relier vos réponses à d'autres données, merci de rentrer votre code enseignant ("e" suivi de 3 chiffres, par exemple "e123") :

Q2 1. Le comportement des élèves pendant le déroulement des séquences de mathématiques menées dans le cadre du projet EXPIRE est un élément important pour mieux comprendre les résultats.

Pour le décrire, vous allez devoir exprimer votre degré d'accord quant aux affirmations qui suivent sur une échelle de allant de (1) Pas du tout d'accord à (5) Tout à fait d'accord.

Pendant les séquences de mathématiques du projet, de façon générale, vous avez eu l'impression que :

	Pas du tout d'accord (1)	Pas d'accord (2)	Plutôt d'accord (3)	D'accord (4)	Tout à fait d'accord (5)
Les élèves ont été régulièrement attentifs (1)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Les élèves ont maintenu leur concentration (2)	<input type="radio"/>				
Les élèves ont été motivés (3)	<input type="radio"/>				
Les élèves ont été rapides dans l'exécution de la tâche (4)	<input type="radio"/>				
Les élèves ont été efficaces dans l'exécution de la tâche (5)	<input type="radio"/>				

Q3 2. Vous avez mis en œuvre des séquences que vous n'aviez pas construites, mais pour lesquelles vous aviez reçu une formation. C'est une situation de conduite d'enseignement inhabituelle, qui a pu créer des difficultés. La question ci-dessous porte sur la conduite de l'enseignement dont ont bénéficié les élèves pendant ces séquences, et pas sur les séquences elles-mêmes ou sur les difficultés des élèves à faire les exercices des tests.

Par rapport à la conduite des séquences d'enseignement de mathématiques habituelle, vous estimez que la qualité de la conduite de l'enseignement dont ont bénéficié les élèves pour les séquences du projet EXPIRE était globalement :

	Qualité vraiment dégradée (1)	Qualité dégradée (2)	Qualité non dégradée (3)
Séquence #1 (division euclidienne) (1)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Séquence #2 (décomposition additive) (2)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Séquence #3 (résolution de problème=problème sur les abonnements) (3)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Séquence #4
(fractions) - pour ceux
qui ont fait cette
séquence (4)



Q4 J'ai réalisé ces séquences :

- à l'aide de l'informatique (c'est-à-dire avec *Scratch*) (1)
- sans l'aide de l'informatique (c'est-à-dire papier/crayon) (2)

Skip To: Q23 If J'ai réalisé ces séquences :=sans l'aide de l'informatique (c'est-à-dire papier/crayon)
Skip To: Q5 If J'ai réalisé ces séquences :=à l'aide de l'informatique (c'est-à-dire avec Scratch)

Q5 3. Pendant les séquences réalisées avec informatique, différents facteurs (niveau des élèves, contraintes d'enseignement ou d'organisation, etc.) ont fait que le temps passé à verbaliser/expliciter/expliquer le lien entre les manipulations/notions informatiques et les notions mathématiques a pu varier sensiblement. Nous voudrions donc mieux comprendre ce qu'il s'est passé séquences par séquences.

Q6 SEQUENCE #1. DIVISION EUCLIDIENNE

Q7 Est-ce que vous avez passé du temps à verbaliser/expliciter/expliquer le lien entre les manipulations/notions informatiques et les notions mathématiques ?

- Oui (1)
- Non (2)

Q8 A combien estimez-vous le temps qui a été consacré à cette explicitation (en minutes, au total pour l'ensemble de la séquence) ?

Q9 A combien estimez-vous le nombre d'élèves qui faisaient le lien entre les manipulations/notions informatiques et les notions mathématiques ?

Indiquez le nombre d'élèves approximatif en rapport avec le nombre total d'élèves, par exemple 15/25.

Q10 SEQUENCE #2. DECOMPOSITION ADDITIVE

Q11 Est-ce que vous avez passé du temps à verbaliser/expliciter/expliquer le lien entre les

manipulations/notions informatiques et les notions mathématiques ?

Oui (1)

Non (2)



Q12 A combien estimez-vous le temps qui a été consacré à cette explicitation (en minutes, au total pour l'ensemble de la séquence) ?

Q13 A combien estimez-vous le nombre d'élèves qui faisaient le lien entre les manipulations/notions informatiques et les notions mathématiques ?

Indiquez le nombre d'élèves approximatif en rapport avec le nombre total d'élèves, par exemple 15/25.

Q14 **SEQUENCE #3. RESOLUTION DE PROBLEME (problème sur les abonnements)**

Q15 Est-ce que vous avez passé du temps à verbaliser/expliciter/expliciter le lien entre les manipulations/notions informatiques et les notions mathématiques ?

Oui (1)

Non (2)



Q16 A combien estimez-vous le temps qui a été consacré à cette explicitation (en minutes, au total pour l'ensemble de la séquence) ?

Q17 A combien estimez-vous le nombre d'élèves qui faisaient le lien entre les manipulations/notions informatiques et les notions mathématiques ?

Indiquez le nombre d'élèves approximatif en rapport avec le nombre total d'élèves, par exemple 15/25.

Q18 SEQUENCE #4. FRACTION (pour ceux qui ont réalisés cette séquence)

Q19 Est-ce que vous avez passé du temps à verbaliser/expliciter/expliciter le lien entre les manipulations/notions informatiques et les notions mathématiques ?

Oui (1)

Non (2)



Q20 A combien estimez-vous le temps qui a été consacré à cette explicitation (en minutes, au total pour l'ensemble de la séquence) ?

Q21 A combien estimez-vous le nombre d'élèves qui faisaient le lien entre les manipulations/notions informatiques et les notions mathématiques ?

Indiquez le nombre d'élèves approximatif en rapport avec le nombre total d'élèves, par exemple 15/25.

Q23 Si vous souhaitez faire des remarques particulières sur certaines des séquences (commentaire, proposition d'amélioration, etc.) vous pouvez utiliser l'espace ci-dessous.

Q24 SEQUENCE #1. DIVISION EUCLIDIENNE

Q25 SEQUENCE #2. DECOMPOSITION ADDITIVE

Q26 SEQUENCE #3. RESOLUTION DE PROBLEME (problème sur les abonnements)

Q27 SEQUENCE #4. FRACTION (pour ceux qui ont réalisés cette séquence)

Q28 Si vous avez des remarques générales sur l'étude, merci de nous en faire par dans l'espace ci-dessous.

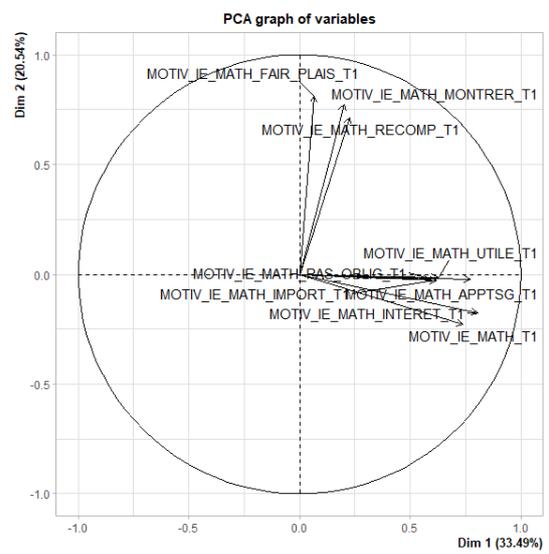
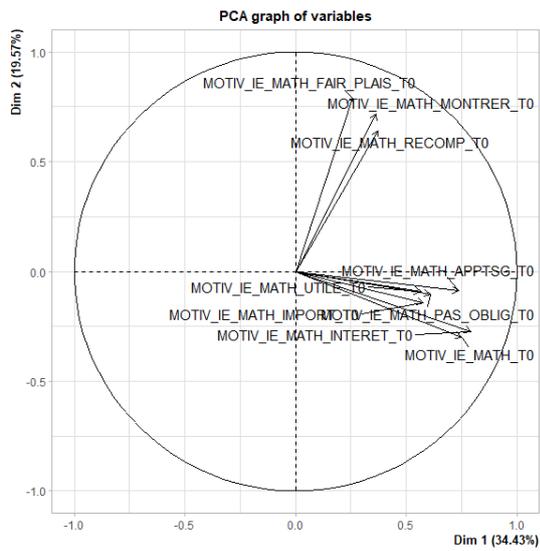
Q28

Merci encore pour votre participation. N'hésitez pas à nous contacter si vous avez des questions. N'oubliez pas de cliquer sur le bouton "suivant" pour valider toutes les réponses que vous nous avez données.

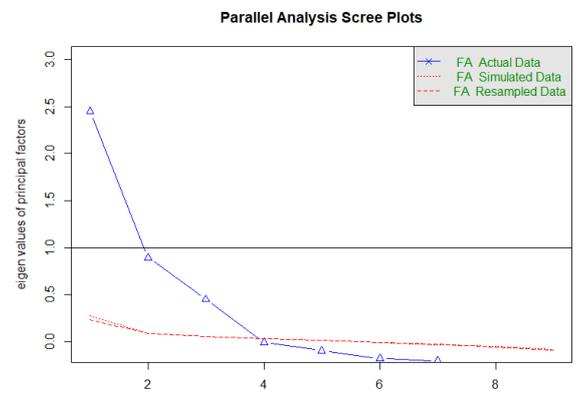
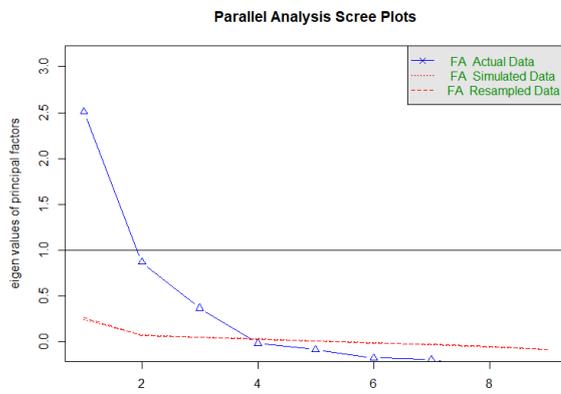
Bien cordialement,

L'équipe de recherche du projet EXPIRE

Annexe 25 : Analyses en composante principale des *items* de la motivation en T1 et T2



Annexe 26 : Scree plot des *items* de la motivation en T1 et T9.



Annexe 27 : Les quatre modèles de spécification pour évaluer l'effet de la programmation sur la division euclidienne.

Spécification du modèle en quatre étapes : (1) modèle vide, (2) ajout des variables de niveau 1, (3) ajout des variables de niveau 2, (4) Ajout du groupe expérimental. À chaque étape, les variables non significatives sont retirées du modèle.

Variables	Posttest (T3) Division euclidienne			
	Modèle étape 1 (vide)	Modèle étape 2	Modèle étape 3	Modèle étape 4 (parcimonieux)
<i>Effets fixes</i>				
Constante	-0,02 ^{ns}	-0,10 [*]	-0,61 ^{ns}	-0,09 ^{ns}
Variables de niveau 1				
Test d'entrée(T1)		0,29 ^{***}	0,29 ^{***}	0,29 ^{***}
Prétest (T2)		0,45 ^{***}	0,45 ^{***}	0,44 ^{***}
CM2		0,17 ^{***}	0,19 ^{***}	0,18 ^{***}
Position scolaire		0,19 ^{**}	0,19 ^{**}	0,20 ^{***}
Fille		0,03 ^{ns}		
Variables de niveau 2				
Moy test entrée(T1)			0,05 ^{ns}	
Moy prétest(T2)			-0,03 ^{ns}	
ET test entrée(T1)			0,05 ^{ns}	
ET prétest (T2)			-0,06 ^{ns}	
Zone édu prio			-0,12 ^{ns}	-0,15 [*]
Enseignant femme			0,04 ^{ns}	
Enseignant Age			0,01 ^{ns}	
Ancienneté			-0,01 ^{ns}	
Plus haut niv études			0,02 ^{ns}	
Formation scientif			-0,02 ^{ns}	
Programmation				-0,16 [*]
<i>Effets aléatoires</i>				
Variance niveau 1	0,81 ^{***}	0,45 ^{***}	0,46 ^{***}	0,45 ^{***}
Variance niveau 2	0,19 ^{***}	0,06 ^{***}	0,06 ^{***}	0,05 ^{***}
-2 log V	5102,4	3991,38	3999,63	3982,5
<i>n=1880</i>				
* $p < ,05$. ** $p < ,01$. *** $p < ,001$.				

Annexe 28 : Les quatre modèles spécification pour évaluer l'effet de la programmation sur la décomposition additive.

Spécification du modèle en quatre étapes : (1) modèle vide, (2) ajout des variables de niveau 1, (3) ajout des variables de niveau 2, (4) Ajout du groupe expérimental. À chaque étape, les variables non significatives sont retirées du modèle.

Variables	Posttest (T5)			
	Décomposition additive			
	Modèle étape 1 (vide)	Modèle étape 2	Modèle étape 3	Modèle étape 4 (parcimonieux)
<i>Effets fixes</i>				
Constante	-0,03 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,13 ^{ns}	-0,10 ^{ns}
Variabes de niveau 1				
Test d'entrée(T1)		0,27 ^{***}	0,27 ^{***}	0,28 ^{***}
Prétest (T4)		0,45 ^{***}	0,46 ^{***}	0,46 ^{***}
CM2		0,05 ^{ns}		
Position scolaire		0,18 ^{**}	0,18 ^{**}	0,18 ^{**}
Fille		-0,01 ^{ns}		
Variabes de niveau 2				
Moy test entrée(T1)			0,07 ^{ns}	
Moy prétest(T4)			0,01 ^{ns}	
ET test entrée(T1)			0,04 ^{ns}	
ET prétest (T4)			-0,01 ^{ns}	
Zone édu prio			-0,11 ^{ns}	
Enseignant femme			-0,04 ^{ns}	
Enseignant Age			-0,01 ^{ns}	
Ancienneté			0,00 ^{ns}	
Plus haut niv études			0,01 ^{ns}	
Formation scientif			0,01 ^{ns}	
Programmation				-0,19 [*]
<i>Effets aléatoires</i>				
Variance niveau 1	0,78 ^{***}	0,46 ^{***}		0,46 ^{***}
Variance niveau 2	0,22 ^{***}	0,13 ^{***}		0,12 ^{***}
-2 log V	4733,2	3829,34	3858,36	3819,4
<i>n=1763</i>				
* $p < ,05$. ** $p < ,01$. *** $p < ,001$.				

Annexe 29 : Les quatre modèles de spécification pour évaluer l'effet de la programmation sur les fractions.

Spécification du modèle en quatre étapes : (1) modèle vide, (2) ajout des variables de niveau 1, (3) ajout des variables de niveau 2, (4) Ajout du groupe expérimental. À chaque étape, les variables non significatives sont retirées du modèle.

Variables	Posttest (T7)			
	Fractions			
	Modèle étape 1 (vide)	Modèle étape 2	Modèle étape 3	Modèle étape 4 (parcimonieux)
<i>Effets fixes</i>				
Constante	-0,02 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,89	-0,15 ^{ns}
Variables de niveau 1				
Test d'entrée(T1)		0,21 ^{***}	0,21	0,21 ^{***}
Prétest (T6)		0,53 ^{***}	0,53	0,53 ^{***}
Position scolaire		0,10 ^{ns}		
Fille		0,00 ^{ns}		
Variables de niveau 2				
Moy test entrée(T1)			0,08 ^{ns}	
Moy prétest(T6)			0,02 ^{ns}	
ET test entrée(T1)			0,14 ^{ns}	
ET prétest (T6)			0,00 ^{ns}	
Zone édu prio			0,23 ^{ns}	-0,37 ^{**}
Enseignant femme			-0,01 ^{ns}	
Enseignant Age			0,02 ^{ns}	
Ancienneté			-0,01 ^{ns}	
Plus haut niv études			-0,06 ^{ns}	
Formation scientif			0,02 ^{ns}	
Programmation				-0,21 [*]
<i>Effets aléatoires</i>				
Variance niveau 1	0,76 ^{***}	0,40 ^{***}	0,41 ^{***}	0,41 ^{***}
Variance niveau 2	0,25 ^{***}	0,08 ^{***}	0,08 ^{**}	0,05 ^{**}
-2 log V	1722,6	1322,92	1347,12	1312,39
<i>n=644</i>				
* $p < ,05$. ** $p < ,01$. *** $p < ,001$.				

Annexe 30. Description de l'attrition des modèles cognitifs.

L'échantillon initial portait sur 2591 élèves, 68 élèves ont été exclus des traitements faute d'autorisation parentale et deux enseignants ont abandonné pour raison médicale, ce qui a exclu 51 élèves supplémentaires des traitements et a constitué l'échantillon de départ de 2472 élèves, 107 enseignants et 46 écoles.

Attrition de la séquence division euclidienne.

Pour cette séquence, 2 élèves ne mentionnent pas l'information CM1 ou CM2 (reste 2470 élèves), 64 élèves n'ont pas passé le test d'entrée en T1 (reste 2406 élèves), 84 élèves n'ont pas passé le pré-test en T2 (reste 2322 élèves), 311 élèves n'ont pas passé le post-score en T3 (reste 2011 élèves). De plus, neuf enseignants n'ont pas renseigné les informations les concernant, utiles pour les modèles (âge, ancienneté, formation, etc.) ce qui a exclu 131 élèves concernés et totalise un échantillon de 1880 élèves pour la séquence division euclidienne. Soit 23,94% de données manquantes pour cette analyse, avec un taux d'attrition par variables de 0,48% à 12,58%.

Attrition de la séquence décomposition additive.

Pour cette séquence, 1 élèves ne mentionnent pas l'information CM1 ou CM2 (reste 2471 élèves), 64 élèves n'ont pas passé le test d'entrée en T1 (reste 2407 élèves), 86 élèves n'ont pas passé le pré-test en T4 (reste 2321 élèves), 399 élèves n'ont pas passé le post-score en T5 (reste 1922 élèves). De plus, sept enseignants n'ont pas renseigné les informations les concernant, utiles pour les modèles (âge, ancienneté, formation, etc.) ce qui a exclu 159 élèves concernés et totalise un échantillon de 1763 élèves. Soit 28,68% de données manquantes pour cette analyse, avec un taux d'attrition par variables de 0,04% à 16,14%.

Attrition de la séquence fractions.

Pour cette séquence nous partons de l'échantillon des 1292 élèves de CM2 de l'échantillon de départ. 24 élèves n'ont pas passé le test d'entrée en T1 (reste 1268 élèves), 96 élèves n'ont pas passé le pré-test en T6 (reste 1172 élèves), 424 élèves n'ont pas passé le post-score en T7 (reste 748 élèves). De plus, cinq enseignants n'ont pas renseigné les informations les concernant, utiles pour les modèles (âge, ancienneté, formation, etc.) ce qui a exclu 104 élèves concernés et totalise un échantillon de 644 élèves. Soit 28,68% de données manquantes pour cette analyse, avec un taux d'attrition par variables de 0,23% à 32,81%.

Annexe 31 : Estimations et significativité des interactions pour les modèles cognitifs.

Les modèles parcimonieux des différentes séquences ont été utilisées pour établir ces estimations.

Interactions	Division euclidienne	
	Estimation	significativité
*Variables élèves		
Expérimentation * Zone éducation prioritaire	0,09	$p=0,45$
Expérimentation * Test entrée (T1)	-0,02	$p=0,54$
Expérimentation * Prétest (T2)	-0,03	$p=0,35$
Expérimentation * CM2	-0,16	$p=0,07$
Expérimentation * Position scolaire	-0,14	$p=0,25$
Expérimentation * Fille	0,00	$p=0,96$
Expérimentation * Anxiété mathématique	-0,04	$p=0,20$
Expérimentation * Sentiment compétence en maths	0,06	$p=0,07$
Expérimentation * Motivation intrinsèque maths	0,02	$p=0,52$
Expérimentation * Motivation identifiée en maths	0,05	$p=0,11$
Expérimentation * Motivation contrôlée en maths	0,00	$p=0,84$
*Variables enseignants		
Expérimentation * Formation scientifique	-0,07	$p=0,56$
Expérimentation * Plus haut niveau d'études	0,04	$p=0,38$
Expérimentation * Pratiques d'enseignement explicite	0,03	$p=0,06$

Décomposition additive		
Interactions	Estimation	significativité
*Variables élèves		
Expérimentation * Zone éducation prioritaire	-0,12	$p=0,47$
Expérimentation * Test entrée (T1)	0,03	$p=0,33$
Expérimentation * Prétest (T4)	0,09	$p=0,02$
Expérimentation * CM2	0,01	$p=0,90$
Expérimentation * Position scolaire	0,04	$p=0,42$
Expérimentation * Fille	-0,07	$p=0,27$
Expérimentation * Anxiété mathématique	-0,06	$p=0,08$
Expérimentation * Sentiment compétence en maths	0,06	$p=0,08$
Expérimentation * Motivation intrinsèque maths	0,08	$p=0,02$
Expérimentation * Motivation identifiée en maths	0,02	$p=0,40$
Expérimentation * Motivation contrôlée en maths	0,10	$p=0,004$
*Variables enseignants		
Expérimentation * Formation scientifique	-0,22	$p=0,23$
Expérimentation * Plus haut niveau d'études	-0,01	$p=0,92$
Expérimentation * Pratiques d'enseignement explicite	-0,02	$p=0,58$
Fractions		
Interactions	Estimation	significativité
*Variables élèves		
Expérimentation * Zone éducation prioritaire	0,52	$p=0,02$
Expérimentation * Test entrée (T1)	0,04	$p=0,52$
Expérimentation * Prétest (T6)	0,03	$p=0,62$
Expérimentation * Position scolaire	-0,17	$p=0,37$
Expérimentation * Fille	0,5	$p=0,66$
Expérimentation * Anxiété mathématique	0,09	$p=0,09$
Expérimentation * Sentiment compétence en maths	-0,04	$p=0,38$
Expérimentation * Motivation intrinsèque maths	0,02	$p=0,74$
Expérimentation * Motivation identifiée en maths	0,00	$p=0,96$
Expérimentation * Motivation contrôlée en maths	0,04	$p=0,51$
*Variables enseignants		
Expérimentation * Formation scientifique	-0,09	$p=0,68$
Expérimentation * Plus haut niveau d'études	0,00	$p=0,99$
Expérimentation * Pratiques d'enseignement explicite	0,02	$p=0,50$

Annexe 32 : Les quatre modèles de spécification pour évaluer l'effet de la programmation sur la régulation intrinsèque de la motivation autodéterminée en mathématiques

Spécification du modèle en quatre étapes : (1) modèle vide, (2) ajout des variables de niveau 1, (3) ajout des variables de niveau 2, (4) Ajout du groupe expérimental. À chaque étape, les variables non significatives sont retirées du modèle.

Variables	Motivation intrinsèque en mathématiques			
	Modèle étape 1 (vide)	Modèle étape 2	Modèle étape 3	Modèle étape 4 (parcimonieux)
<i>Effets fixes</i>				
Constante	0,00 ^{ns}	0,12 ^{**}	0,11	0,07 ^{ns}
Variables de niveau 1				
Motiv Int(T1)		0,45 ^{***}	0,46 ^{***}	0,46 ^{***}
Motiv Idf(T1)		0,05 [*]	0,06 [*]	0,05 [*]
Motiv Ctrl(T1)		0,04 ^t		
Sent Comp(T1)		0,14 ^{***}	0,14 ^{***}	0,14 ^{***}
Anxiété(T1)		-0,07 ^{**}	-0,06 [*]	-0,06 ^{**}
Test d'entrée(T1)		-0,01 ^{ns}		
Prétest (T2)		0,07 ^{**}	0,05 [*]	0,06 [*]
Fille		-0,07 ^t	-0,09 [*]	-0,08 [*]
CM2		-0,16 ^{**}	-0,11 [*]	-0,16 ^{**}
Position scolaire		0,03 ^{ns}		
Variables de niveau 2				
Moy test entrée(T1)			-0,043 ^{ns}	
Moy prétest(T2)			0,06 ^{ns}	
ET test entrée(T1)			-0,00 ^{ns}	
ET prétest (T2)			-0,05 ^{ns}	
Zone édu prio			0,16 [*]	0,12 [*]
Enseignant femme			0,10 ^{ns}	
Enseignant Age			0,01 ^{ns}	
Ancienneté			-0,00 ^{ns}	
Plus haut niv études			-0,02 ^{ns}	
Formation scientif			0,15 [*]	
Aise en maths			-0,02 ^{ns}	
Utilise info quoti			-0,04 ^{ns}	
Programmation				0,04 ^{ns}
<i>Effets aléatoires</i>				
Variance niveau 1	0,97 ^{***}	0,57 ^{***}	0,58 ^{***}	0,57 ^{***}
Variance niveau 2	0,03 ^{**}	0,03 ^{**}	0,02 [*]	0,24 ^{**}
-2 log V	4928,78	4074,76	3807,63	4066,40
<i>n=1740</i>				
* $p < ,05$. ** $p < ,01$. *** $p < ,001$.				

Annexe 33 : Les quatre modèles de spécification pour évaluer l'effet de la programmation sur la régulation identifiée de la motivation autodéterminée en mathématiques

Spécification du modèle en quatre étapes : (1) modèle vide, (2) ajout des variables de niveau 1, (3) ajout des variables de niveau 2, (4) Ajout du groupe expérimental. À chaque étape, les variables non significatives sont retirées du modèle.

Variables	Motivation identifiée en mathématiques			
	Modèle étape 1 (vide)	Modèle étape 2	Modèle étape 3	Modèle étape 4 (parcimonieux)
<i>Effets fixes</i>				
Constante	0,00 ^{ns}	,04 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Variabes de niveau 1				
Motiv Int(T1)		0,15 ^{***}	0,18 ^{***}	0,16 ^{***}
Motiv Idf(T1)		0,26 ^{***}	0,25 ^{***}	0,26 ^{***}
Motiv Ctrl(T1)		0,08 ^{**}	0,06 ^{**}	0,07 ^{**}
Sent Comp(T1)		-0,01 ^{ns}		
Anxiété(T1)		-0,05 ^{ns}		
Test d'entrée(T1)		-0,00 ^{ns}		
Prétest (T2)		0,06 [*]		
Fille		0,06 ^{ns}		
CM2		-0,15 [*]	-0,16 ^{**}	-0,12 [*]
Position scolaire		-0,11 ^{ns}		
Variabes de niveau 2				
Moy test entrée(T1)			-0,05 ^{ns}	
Moy prétest(T2)			0,08 ^{ns}	
ET test entrée(T1)			-0,03 ^{ns}	
ET prétest (T2)			0,09 ^{ns}	
Zone édu prio			0,12 ^{ns}	
Enseignant femme			0,05 ^{ns}	
Enseignant Age			0,00 ^{ns}	
Ancienneté			-0,00 ^{ns}	
Plus haut niv études			-0,03 ^{ns}	
Formation scientif			0,13 ^{ns}	
Aise en maths			-0,01 ^{ns}	
Utilise info quoti			0,01 ^{ns}	
Programmation				0,05 ^{ns}
<i>Effets aléatoires</i>				
Variance niveau 1	0,96 ^{***}	0,82 ^{***}	0,77	0,79 ^{***}
Variance niveau 2	0,04 ^{**}	0,02t	0,02t	0,02 [*]
			-0,02 [*]	-0,02 ^{**}
			0,04 ^{**}	0,03 ^{**}
-2 log V	4927,67	4680,66	4283,21	4633,93
<i>n=1740</i>				
* $p < ,05$. ** $p < ,01$. *** $p < ,001$.				

Annexe 34 : Les quatre modèles de spécification pour évaluer l'effet de la programmation sur la régulation contrôlée de la motivation autodéterminée en mathématiques

Spécification du modèle en quatre étapes : (1) modèle vide, (2) ajout des variables de niveau 1, (3) ajout des variables de niveau 2, (4) Ajout du groupe expérimental. À chaque étape, les variables non significatives sont retirées du modèle.

Variables	Motivation contrôlée en mathématiques			
	Modèle étape 1 (vide)	Modèle étape 2	Modèle étape 3	Modèle étape 4 (parcimonieux)
<i>Effets fixes</i>				
Constante	,01 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,33 ^{**}
Variables de niveau 1				
Motiv Int(T1)		-0,03 ^{ns}		
Motiv Idf(T1)		-0,04 [*]	-0,05 ^{**}	-0,05 ^{**}
Motiv Ctrl(T1)		0,69 ^{***}	0,68 ^{***}	0,69 ^{***}
Sent Comp(T1)		0,02 ^{ns}		
Anxiété(T1)		0,01 ^{ns}		
Test d'entrée(T1)		-0,08 ^{***}	-0,09 ^{***}	-0,08 ^{***}
Prétest (T2)		-0,01 ^{ns}		
Fille		-0,08 [*]	-0,09 [*]	-0,07 [*]
CM2		-0,04 ^{ns}		
Position scolaire		-0,20 ^{**}	-0,21 ^{**}	0,20 ^{**}
Variables de niveau 2				
Moy test entrée(T1)			0,04 ^{ns}	
Moy prétest(T2)			0,03 ^{ns}	
ET test entrée(T1)			0,08 ^{ns}	
ET prétest (T2)			-0,16 [*]	-0,15 [*]
Zone édu prio			0,07 ^{ns}	
Enseignant femme			-0,07 ^{ns}	
Enseignant Age			0,00 ^{ns}	
Ancienneté			-0,00 ^{ns}	
Plus haut niv études			-0,01 ^{ns}	
Formation scientif			-0,06 ^{ns}	
Aise en maths			0,00 ^{ns}	
Utilise info quoti			-0,01 ^{ns}	
Programmation				-0,02 ^{ns}
<i>Effets aléatoires</i>				
Variance niveau 1	0,92 ^{***}	0,44 ^{***}	0,45 ^{***}	0,45 ^{***}
Variance niveau 2	0,08 ^{***}	0,02 ^{**}	0,02 ^{**}	0,02 ^{**}
-2 log V	4891,07	3656,41	3424,82	3631,74
<i>n=1740</i>				
* $p < ,05$. ** $p < ,01$. *** $p < ,001$.				

Annexe 35 : Les quatre modèles de spécification pour évaluer l'effet de la programmation sur le sentiment de compétence en mathématiques

Spécification du modèle en quatre étapes : (1) modèle vide, (2) ajout des variables de niveau 1, (3) ajout des variables de niveau 2, (4) Ajout du groupe expérimental. À chaque étape, les variables non significatives sont retirées du modèle.

Variables	Sentiment de compétence en mathématiques			
	Modèle étape 1 (vide)	Modèle étape 2	Modèle étape 3	Modèle étape 4 (parcimonieux)
<i>Effets fixes</i>				
Constante	0,00 ^{ns}	0,12 ^{**}	-0,45 ^{ns}	-0,21 [*]
Variables de niveau 1				
Motiv Int(T1)		0,12 ^{***}	0,13 ^{***}	0,12 ^{***}
Motiv Idf(T1)		0,01 ^{ns}		
Motiv Ctrl(T1)		0,06 ^{**}	0,06 ^{**}	0,06 ^{***}
Sent Comp(T1)		0,49 ^{***}	0,48 ^{***}	0,48 ^{***}
Anxiété(T1)		-0,06 [*]	-0,04 ^t	-0,06 ^{**}
Test d'entrée(T1)		0,10 ^{***}	0,11 ^{***}	0,11 ^{***}
Prétest (T2)		0,14 ^{***}	0,15 ^{***}	0,15 ^{***}
Fille		-0,17 ^{***}	-0,18 ^{***}	-0,17 ^{***}
CM2		-0,06 ^{ns}		
Position scolaire		0,15 [*]	0,17 ^{**}	0,15 ^{**}
Variables de niveau 2				
Moy test entrée(T1)			0,02 ^{ns}	
Moy prétest(T2)			-0,03 ^{ns}	
ET test entrée(T1)			0,10 ^{ns}	0,14 ^{***}
ET prétest (T2)			0,01 ^{ns}	
Zone édu prio			0,03 ^{ns}	
Enseignant femme			0,13 ^{ns}	
Enseignant Age			0,00 ^{ns}	
Ancienneté			-0,00 ^{ns}	
Plus haut niv études			0,02 ^{ns}	
Formation scientif			0,08 ^{ns}	
Aise en maths			0,02 ^{ns}	
Utilise info quoti			-0,02 ^{ns}	
Programmation				-0,08 ^{ns}
<i>Effets aléatoires</i>				
Variance niveau 1	0,98 ^{***}	0,46 ^{***}		0,46 ^{***}
Variance niveau 2	0,02 ^{**}	0,03 ^{***}		0,02 ^{**}
-2 log V	4936,65	3725,00	3469,86	3709,66
<i>n=1740</i>				
* $p < ,05$. ** $p < ,01$. *** $p < ,001$.				

Annexe 36 : Les quatre modèles de spécification pour évaluer l'effet de la programmation sur l'anxiété en mathématiques

Spécification du modèle en quatre étapes : (1) modèle vide, (2) ajout des variables de niveau 1, (3) ajout des variables de niveau 2, (4) Ajout du groupe expérimental. À chaque étape, les variables non significatives sont retirées du modèle.

Variables	Anxiété en mathématiques			
	Modèle étape 1 (vide)	Modèle étape 2	Modèle étape 3	Modèle étape 4 (parcimonieux)
<i>Effets fixes</i>				
Constante	0,00 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,04 ^{ns}
Variabes de niveau 1				
Motiv Int(T1)		-0,13 ^{***}	-0,13 ^{***}	-0,13 ^{***}
Motiv Idf(T1)		0,00 ^{ns}		
Motiv Ctrl(T1)		0,02 ^{ns}		
Sent Comp(T1)		-0,11 ^{***}	-0,12 ^{***}	-0,12 ^{**}
Anxiété(T1)		0,41 ^{***}	0,39 ^{***}	0,40 ^{***}
Test d'entrée(T1)		-0,06 [*]	-0,06 [*]	-0,06 ^{**}
Prétest (T2)		-0,09 ^{***}	-0,10 ^{***}	-0,10 ^{***}
Fille		0,07 ^t	0,08 [*]	0,07 ^t
CM2		0,03 ^{ns}		
Position scolaire		-0,07 ^{ns}		
Variabes de niveau 2				
Moy test entrée(T1)			-0,00 ^{ns}	
Moy prétest(T2)			0,01 ^{ns}	
ET test entrée(T1)			-0,01 ^{ns}	
ET prétest (T2)			0,01 ^{ns}	
Zone édu prio			0,00 ^{ns}	
Enseignant femme			-0,04 ^{ns}	
Enseignant Age			-0,00 ^{ns}	
Ancienneté			0,00 ^{ns}	
Plus haut niv études			-0,00 ^{ns}	
Formation scientif			-0,01 ^{ns}	
Aise en maths			0,02 ^{ns}	
Utilise info quoti			-0,02 ^{ns}	
Programmation				0,01 ^{ns}
<i>Effets aléatoires</i>				
Variance niveau 1	0,99 ^{***}	0,60 ^{***}	0,57	,56 ^{***}
Variance niveau 2	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}
			0,03 ^{**}	0,03 ^{***}
-2 log V	4940,00	4115,05	3843,74	4067,02
<i>n=1740</i>				
* $p < ,05$. ** $p < ,01$. *** $p < ,001$.				

Annexe 37. Description de l'attrition des modèles conatifs.

L'échantillon initial portait sur 2591 élèves, 68 élèves ont été exclus des traitements faute d'autorisation parentale et deux enseignants ont abandonné pour raison médicale, ce qui a exclu 51 élèves supplémentaires des traitements et a constitué l'échantillon de départ de 2472 élèves, 107 enseignants et 46 écoles.

A partir de cet échantillon, nous avons constitué une base pour lancer les modèles conatifs, cette base devait présenter l'ensemble des données pour chacun des modèles. Nous avons exclu 143 élèves qui ne présentaient pas de score d'anxiété en T1 (reste 2329 élèves), et 446 élèves qui ne l'avaient pas en T9 (reste 1883 élèves), 2 élèves supplémentaires n'avaient pas de mesure de sentiment de compétence en T1 (reste 1881 élèves), 4 n'avaient pas de score de motivation intrinsèque en T1 (1877) et 19 ne l'avaient pas en T9 (reste 1858 élèves), 2 élèves n'avaient pas de score de motivation contrôlée en T9 (reste 1856 élèves) et 31 élèves n'avaient pas de score d'entrée en T1 (reste 1825 élèves), 1 élève n'avait pas d'indication sur son niveau de classe (reste 1824 élèves), et 84 élèves n'avaient pas de score au prétest de la division euclidienne en T2 (reste 1740 élèves).

Soit 29,61% de données manquantes pour ces analyses, avec un taux d'attrition par variables de 0,08% à 18,04%.

Annexe 38. Récapitulatif de la participation des enseignants

Ce tableau recense la liste des enseignants du dispositif, en repérant pour chacun d'entre eux, s'il a répondu aux questionnaire en T1 et T2 aux utiles à la discussion de l'implantation du dispositif et s'il a renvoyé les pré et post-tests des séquences.

code enseignant	Groupe	Classe avec des CM2	répondu maîtrise ppcipes dida T1	répondu maîtrise div euc T1	répondu maîtrise decomp add T1	répondu maîtrise fract T1	répondu maîtrise scratch T1	rendu SEQ DIVISION	répondu qualité séq division T9	répondu verbal lien division T9	repondu temps explications division T9	repondu proportion élèves compris division T9	rendu SEQ DECOMP ADDITIVE	répondu qualité décomp additive T9	répondu verbalisation lien décomp additive T9	repondu temps explications décomp additive T9	repondu proportion élèves compris décomp additive T9	rendu SEQUENCE FRACTIONS	répondu qualité séquence fraction T9	répondu verbalisation lien fraction T9	repondu temps explications fractions T9	repondu proportion élèves compris fractions T9	repondu comportement élèves T9	rendu nb séquences	rendu seq1 et seq2
105	Exp	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	3	2	
107	Exp	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	3	0	
109	Exp	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	3	0	
111	Exp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	
113	Exp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	
119	Exp	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	2	0	
121	Exp	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	
125	Exp	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
127	Exp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	
129	Exp	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	
131	Exp	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	
135	Exp	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
137	Exp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	2	0	
139	Exp	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	
141	Exp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	
145	Exp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	3	2	
147	Exp	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	2	
149	Exp	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	2	
151	Exp	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
155	Exp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	2	2	
157	Exp	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	2	
161	Exp	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	2	
165	Exp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	
167	Exp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	3	2	
169	Exp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	
171	Exp	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

code enseignant		Groupe		Classe avec des CM2																				rendu nb séquences		rendu seq1 et seq2	
				répondu maîtrise ppcipes dida T1	répondu maîtrise div euc T1	répondu maîtrise décomp add T1	répondu maîtrise fract T1	répondu maîtrise scratch T1	rendu SEQ DIVISION	répondu qualité seq division T9	répondu verbal lien division T9	repondu temps explications division T9	repondu proportion élèves compris division T9	rendu SEQ DECOMP ADDITIVE	répondu qualité décomp additive T9	répondu verbalisation lien décomp additive T9	repondu temps explications décomp additive T9	repondu proportion élèves compris décomp additive T9	rendu SEQUENCE FRACTIONS	répondu qualité séquence fraction T9	répondu verbalisation lien fraction T9	repondu temps explications fractions T9	repondu proportion élèves compris fractions T9	repondu comportement élèves T9			
173	Exp	0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	2	
183	Exp	1		1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	
185	Exp	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	2	
187	Exp	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	
189	Exp	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	
191	Exp	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	
193	Exp	1		1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	
195	Exp	0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	2	
197	Exp	0		1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	2	
203	Exp	1		1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
209	Exp	1		1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2	0	
215	Exp	1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
219	Exp	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
221	Exp	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	
223	Exp	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	
227	Exp	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	
229	Exp	1		1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	
233	Exp	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
235	Exp	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	2	
237	Exp	0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	
243	Exp	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	
245	Exp	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	2	2	
247	Exp	0		1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
249	Exp	1		1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	
251	Exp	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	
255	Exp	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	
257	Exp	1		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	
259	Exp	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
261	Exp	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	0	
265	Exp	0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	
267	Exp	1		1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	2	

code enseignant	Groupe	Classe avec des CM2	répondu maîtrise ppcipes dida T1	répondu maîtrise div euc T1	répondu maîtrise décomp add T1	répondu maîtrise fract T1	répondu maîtrise scratch T1	rendu SEQ DIVISION	répondu qualité séq division T9	répondu verbal lien division T9	repondu temps explications division T9	repondu proportion élèves compris division T9	rendu SEQ DECOMP ADDITIVE	répondu qualité décomp additive T9	répondu verbalisation lien décomp additive T9	repondu temps explications décomp additive T9	repondu proportion élèves compris décomp additive T9	rendu SEQUENCE FRACTIONS	répondu qualité séquence fraction T9	répondu verbalisation lien fraction T9	repondu temps explications fractions T9	repondu proportion élèves compris fractions T9	repondu comportement élèves T9	rendu nb séquences	rendu seq1 et seq2
269	Exp	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	2	
273	Exp	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	2
275	Exp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	3	2
279	Exp	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	2
285	Exp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	2
287	Exp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2
289	Exp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2
291	Exp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2
293	Exp	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	2
299	Exp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	3	2
104	ctrl	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
106	ctrl	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	2	
108	ctrl	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	
110	ctrl	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	
112	ctrl	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
118	ctrl	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	3	2
120	ctrl	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	
124	ctrl	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	3	2
126	ctrl	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	3	2
128	ctrl	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2
130	ctrl	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	
134	ctrl	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	2	0
136	ctrl	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	3	2
138	ctrl	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	
140	ctrl	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
142	ctrl	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	2	
144	ctrl	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	
146	ctrl	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2
148	ctrl	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	2
150	ctrl	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	2	
154	ctrl	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	3	2

code enseignant		Groupe		Classe avec des CM2																				rendu nb séquences		rendu seq1 et seq2	
		répondu maîtrise ppcipes dida T1	répondu maîtrise div euc T1	répondu maîtrise décomp add T1	répondu maîtrise fract T1	répondu maîtrise scratch T1	rendu SEQ DIVISION	répondu qualité seq division T9	répondu verbal lien division T9	repondu temps explications division T9	repondu proportion élèves compris division T9	rendu SEQ DECOMP ADDITIVE	répondu qualité décomp additive T9	répondu verbalisation lien décomp additive T9	repondu temps explications décomp additive T9	repondu proportion élèves compris décomp additive T9	rendu SEQUENCE FRACTIONS	répondu qualité séquence fraction T9	répondu verbalisation lien fraction T9	repondu temps explications fractions T9	repondu proportion élèves compris fractions T9	repondu comportement élèves T9					
156	ctrl	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2			
160	ctrl	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2			
162	ctrl	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	3	2			
164	ctrl	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2			
166	ctrl	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2			
168	ctrl	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	3	2			
170	ctrl	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0			
172	ctrl	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	2			
184	ctrl	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2			
186	ctrl	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2			
188	ctrl	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2			
190	ctrl	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2			
192	ctrl	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	2			
194	ctrl	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	2			
196	ctrl	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2			
202	ctrl	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2			
208	ctrl	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2			
214	ctrl	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2			
218	ctrl	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	2	0			

Annexe 39. Réponses des enseignants à propos de la qualité de la formation Expire (T1).

Questionnaire enseignant en T1, réponses codées de 1, « pas du tout d'accord » à 5, « tout à fait d'accord ».

	M (ET)	Pas du tout d'accord %	Pas d'accord %	Plutôt d'accord %	D'accor d %	Tout à fait d'accord %	Test du Khi2 Val	<i>p</i>
Avant la formation Expire, vous maîtrisiez les principes didactiques sous-jacents aux séquences qui vous ont été présentées.								
Programmation (n=59)	3,7 (1,03)	5,1	5,1	25,4	42,4	22,0	3,07 ^a	0,5 4
Contrôle (n=38)	3,8 (0,92)	5,3	0,0	21,0	55,3	18,4		
En sortant de la formation Expire, vous aviez l'impression de maîtriser de la séquence de la division euclidienne.								
Programmation (n=59)	3,85 (0,85)	0,0	8,5	18,6	52,5	20,3	3,62 ^b	0,4 6
Contrôle (n=37)	4,0 (0,94)	2,7	5,4	10,8	51,4	29,7		
En sortant de la formation Expire, vous aviez l'impression de maîtriser de la séquence de décomposition des nombres entiers.								
Programmation (n=59)	3,85 (0,85)	0,0	6,8	23,7	47,5	22,0	2,27 ^c	0,6 9
Contrôle (n=36)	3,81 (0,98)	2,8	8,3	16,7	50,0	22,2		
En sortant de la formation Expire, vous aviez l'impression de maîtriser de la séquence des fractions.								
Programmation (n=59)	3,59 (1,02)	3,6	12,5	21,4	46,4	16,1	0,88 ^d	0,7 6
Contrôle (n=35)	3,86 (0,94)	2,9	5,7	17,1	51,4	22,9		
Si concerné : en sortant de la formation Expire, vous aviez l'impression de maîtriser suffisamment Scratch pour mener à bien les séquences de mathématiques proposées^f.								
Programmation (n=59)	3,49 (1,31)	5,1	15,3	16,9	33,9	28,8		

* $p < ,05$. ** $p < ,01$. *** $p < ,001$.

^a : L'effectif théorique minimum est de 1,18.

^b : L'effectif théorique minimum est de ,39.

^c : L'effectif théorique minimum est de ,38.

^d : L'effectif théorique minimum est de 1,52.

^f : Cette question ne concerne que le groupe programmation.

Annexe 40. Réponses des enseignants à propos du comportement des élèves pendant les séquences (T9).

	M (ET)	Pas du tout d'accord		Pas d'accord		Plutôt d'accord		D'accord		Tout à fait d'accord		Test du Khi2	
		N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	Val	<i>p</i>
Les élèves ont été régulièrement attentifs													
Programmation	3,65(0,87)	0	0,0	3	5,6	24	44,4	16	29,6	11	20,4	6,31 ^a	,18
Contrôle	3,17(1,00)	1	4,2	4	16,7	12	50,0	4	16,7	3	12,5		
Les élèves ont maintenu leur concentration													
Programmation	3,50(0,79)	0	0,0	5	9,3	22	40,7	22	40,7	5	9,3	6,84 ^b	,08
Contrôle	3,00(0,83)	0	0,0	7	29,2	11	45,8	5	20,8	1	4,2		
Les élèves ont été motivés													
Programmation	3,94(0,88)	0	0	1	1,9	19	35,2	16	29,6	18	33,3	10,32 ^c	,04
Contrôle	3,33(0,96)	1	4,2	3	12,5	9	37,5	9	37,5	2	8,3		
Les élèves ont été rapides dans l'exécution de la tâche													
Programmation	3,24(0,93)	1	1,9	14	25,9	11	20,4	27	50,0	1	1,9	11,44 ^d	,02
Contrôle	2,71(1,23)	3	12,5	11	45,8	2	8,3	6	25,0	2	8,3		
Les élèves ont été efficaces dans l'exécution de la tâche													
Programmation	3,08(1,14)	0	0	10	18,5	13	24,1	29	53,7	2	3,7	6,66 ^d	,16
Contrôle	3,43(0,83)	1	1,9	14	25,9	11	20,4	27	50,0	1	1,9		

* $p < ,05$. ** $p < ,01$. *** $p < ,001$.

^a L'effectif théorique minimum est de ,31.

^b L'effectif théorique minimum est de 1,85.

^c L'effectif théorique minimum est de ,92.

^d L'effectif théorique minimum est de ,62.