UNIVERSITÉ DE FRIBOURG
UNIVERSITÄT FREIBURG

Mémoire de Master
présenté à la
Faculté des lettres et des sciences humaines
de l'Université de Fribourg (CH)

Master of Science en Sciences de l'éducation

De l'arithmétique à l'algèbre

Attitudes et difficultés

réalisé sous la direction du Prof. Philippe Genoud

PITHON Joëlle

Décembre 2022

Résumé :

Les mathématiques peuvent parfois déclencher des réactions fortes et surtout négatives. Parmi les éléments à même de provoquer une forte anxiété chez les élèves, le passage de l'arithmétique à l'algébrique est un moment souvent crucial. En effet, l'introduction de la notion d'inconnues dans le programme mathématique provoque des difficultés de compréhension et un certain rejet de cette matière. Cette recherche tente d'examiner les attitudes des élèves (auprès d'un échantillon de 181 élèves de 11ème HarmoS) en lien avec la résolution de problèmes dans un contexte de transition entre l'arithmétique et l'algèbre. Notre étude a permis d'observer une certaine difficulté à résoudre le problème algébrique, la moitié des élèves n'ayant pas réussi le problème algébrique. Alors que les élèves réussissent presque tous le problème arithmétique. De plus, les affects négatifs sont plus élevés durant la résolution au problème algébrique et les élèves ne sentent que peu compétents dans cette résolution. L'investissement des élèves dans la résolution des problèmes s'est révélé très important pour la réussite de l'élève.

Introduction

Durant leur scolarité les élèves accumulent énormément de connaissances dans plusieurs domaines. En travaillant les langues, les sciences et les arts, ils découvrent des contenus variés ainsi que différentes méthodes d'apprentissage, chaque branche ayant sa didactique et chaque enseignant[1] sa manière d'envisager et d'organiser les apprentissages.

Les recherches en sciences de l'éducation se sont multipliées pour développer les connaissances dans ses domaines. Au fil des années, les didactiques des branches (tout comme la gestion de classe) ont énormément évolué et les méthodes se font plus complexes et variées, passant du cours magistral aux classes inversées. Les sciences de l'éducation ont non seulement analysé l'impact des différentes méthodes et de certains facteurs sur l'apprentissage et la performance des élèves, mais ont aussi pris en compte certaines variables relatives à l'environnement de l'élève, comme le climat de la classe (Sarrazin et al., 2006).

En outre, les recherches s'intéressent également à l'élève en tant qu'individu, avec ses pensées, ses goûts ainsi que son fonctionnement cognitif et affectif (Deforge & Frenkel, 2014, Galand & Bourgeois, 2006). Pour se faire, les recherches ont développé le concept d'attitudes. Les attitudes regroupent le comportement de l'élève face à une activité ou une branche, son état émotionnel et ses connaissances (Alexandre, 1996). Il existe plusieurs moyens de récolter les attitudes des élèves, notamment par questionnaire sous forme d'auto-évaluation. Les élèves étudient beaucoup de domaines et développent des relations différentes avec ses branches. Cela peut amener l'élève à consacrer plus de temps ou plus d'énergie à une branche, et inversement, à en délaisser par ennui, l'amenant possiblement jusqu'au décrochage scolaire (Barbeau, 1991). Les attitudes permettent de voir une réticence, une détresse de l'élève vis-à-vis d'une branche ou un intérêt envers une autre.

Les mathématiques sont une branche que plusieurs auteurs caractérisent comme une souffrance pour les élèves (Nimier, 1997 ; Aiken, 1970). Cela étant, les attitudes permettent d'analyser plus profondément cette souffrance des élèves et les autres comportements envers les mathématiques. Cependant les mathématiques regroupent différents domaines, apportant chacun des méthodes différentes et leurs spécificités.

Un événement primordial dans l'apprentissage des mathématiques est la découverte de l'algèbre. En effet, l'algèbre introduit une certaine abstraction de la réalité qui induit des réactions négatives chez les élèves, cette période est étudiée comme une période plus difficile pour les élèves, avec des performances moins bonnes (Bednarz & Janvier, 1996 ;

[1] Dans ce document, le masculin sera utilisé comme générique.

Lee Peterson & Hyde, 2017). La thématique de ce travail est, donc, ces deux domaines des mathématiques : l'arithmétique et l'algèbre.

Jusqu'ici les attitudes dans le domaine des mathématiques ont été analysées principalement à travers les mathématiques globales, c'est-à-dire en regroupant tous ses domaines. Ainsi notre travail se veut examiner les liens entre les attitudes d'un élève vis-à-vis d'un exercice donné de nature arithmétique ou algébrique, ainsi qu'entre les attitudes et la performance de l'élève. Par cela, nous voulons étudier non pas les mathématiques globales mais plus particulièrement l'algèbre et la différence entre les attitudes face à l'arithmétique et celles face à l'algèbre.

Cette transition est notamment étudiée à travers la résolution de problème qui sont des exercices que plusieurs auteurs et programmes recommandent (Prouxl, 2003 ; Plan d'étude romand, 2010). Dans la continuité de ces études, notre travail développera la thématique à travers les attitudes et en utilisant la méthode de résolution de problème. Nous verrons donc apparaître l'arithmétique et l'algèbre dans les méthodes de résolution du problème (Schimdt, 1996). Les attitudes dans un contexte de résolution de problème nous donneront un nouveau point de vue sur la transition entre l'arithmétique et l'algèbre.

Cadre théorique

1 Le programme

1.1 Les mathématiques dans le cursus scolaire

Durant son cursus scolaire, chaque élève apprend les fondamentaux de culture générale dans plusieurs branches. Parmi celles-ci, les mathématiques sont considérées comme une branche principale dans l'éducation scolaire de l'enfant. Ceci peut être visible de plusieurs manières. Premièrement, par le nombre d'heures dédiées aux mathématiques durant le cursus obligatoire, à hauteur de cinq heures par semaine. Cette quantité horaire est la seconde la plus importante, derrière le français, avec un volume horaire moyen de six heure et demie durant le cursus scolaire. Durant l'entièreté de son cursus scolaire les mathématiques restent la deuxième branche avec le plus d'heures dédiées à son apprentissage (voir Tableau 1).

Tableau 1

Répartition des heures du français et des mathématiques durant la scolarité d'un enfant selon le plan de l'état de Fribourg (Plan d'étude romand, s.d. ; SEnOF, 2014)

	FRANÇAIS		**MATHÉMATIQUES**		**TOTAL**	
	Heures	%	Heures	%	Heure	Moyenne
3-4	7,5	30	5,25	21	25	2,5
5-6	9	32	5	18	28	3,5
7-8	7	25	5	18	28	3,1
9H	6	19	5	16	32	2,28
10H	6	18	5	15	33	2,35
11H	6	18	5	15	34	2,42

Deuxièmement, pour le diplôme de la maturité gymnasiale, les mathématiques font partie des branches à examens. En effet, les six branches examinées pour le diplôme comprennent les langues, les mathématiques, et les options choisies par l'élève.

De plus, dans le cursus tertiaire, les mathématiques ne disparaissent pas complétement du cursus des étudiants. Même si certaines facultés, comme la théologie et le droit, ne comprennent aucun cours de mathématiques, d'autres en contiennent encore comme celles des sciences exactes ou celles d'économies. De plus, d'autres cursus scientifiques, notamment ceux concernant les sciences humaines, comme la psychologie ou les sciences de l'éducation, enseignent les mathématiques aux étudiants de première année à travers les cours de statistiques. Ainsi les mathématiques font partie intégrante de la vie scolaire et universitaire des élèves.

1.2 L'arithmétique et l'algèbre dans le plan d'étude romand

Durant l'école obligatoire, l'apprentissage en mathématiques des élèves regroupe cinq thématiques : l'espace, les nombres, les opérations, les grandeurs et les mesures (voir Figure 1). Ces thèmes sont traités à travers certains des trois grands domaines des mathématiques : l'arithmétique, l'algèbre et la géométrie. Par exemple, l'espace est une des thématiques présentant la géométrie aux enfants.

Figure 1

Plan romand en mathématiques (Plan d'étude romand, 2010)

	Espace	*Nombres*	*Opérations*	*Grandeurs et mesures*
Premier cycle	**MSN 11** Explorer l'espace… **Mathématiques**	**MSN 12** Poser et résoudre des problèmes pour construire et structurer des représentations des nombres naturels… **Mathématiques**	**MSN 13** Résoudre des problèmes additifs… **Mathématiques**	**MSN 14** Comparer et sérier des grandeurs… **Mathématiques**
Deuxième cycle	**MSN 21** Poser et résoudre des problèmes pour structurer le plan et l'espace… **Mathématiques**	**MSN 22** Poser et résoudre des problèmes pour construire et structurer des représentations des nombres rationnels… **Mathématiques**	**MSN 23** Résoudre des problèmes additifs et multiplicatifs… **Mathématiques**	**MSN 24** Utiliser la mesure pour comparer des grandeurs… **Mathématiques**
Troisième cycle	**MSN 31** Poser et résoudre des problèmes pour modéliser le plan et l'espace… **Mathématiques**	**MSN 32** Poser et résoudre des problèmes pour construire et structurer des représentations des nombres réels… **Mathématiques**	**MSN 33** Résoudre des problèmes numériques et algébriques… **Mathématiques**	**MSN 34** Mobiliser la mesure pour comparer des grandeurs… **Mathématiques**

Mais, à travers les thématiques des nombres, des opérations, et des grandeurs, ils vont étudier une des grandes thématiques du cursus scolaire mathématiques : le calcul. C'est l'un des premiers thèmes traités et le fondement de beaucoup de thèmes à venir. Dans le plan (voir figure 1) nous voyons une gradation de difficulté dans les thèmes. Chaque thème étant approfondi un peu plus à chaque cycle. Demonty (2008) explicite les étapes du calcul, qui sont développé à travers le programme scolaire.

La première étape est l'arithmétique. L'objet de l'arithmétique est les nombres. Ils apprennent la base des règles d'opération avec les nombres, c'est-à-dire les tableaux de multiplication, les propriétés des opérations et leurs priorités. Leur objectif est de trouver les résultats du calcul avec leurs connaissances sur les opérations.

Le deuxième stade est l'algèbre syncopée. Il introduit le symbole de l'inconnue pour ce qui est à chercher. Ces inconnues sont des variables, représentées par des lettres. Les plus utilisées sont x, y, z. Le but de ce domaine et d'écrire les relations entre des données connues et inconnues. Demonty (2008) considère que l'algèbre est la partie des mathématiques où il existe une inconnue, autre que le résultat. Les relations entre les données vont permettre de déterminer les inconnues en fonction des connues.

Le dernier stade est l'algèbre symbolique, il comprend des lettres ne représentant pas que des inconnues mais aussi des paramètres ou des constantes. Les paramètres sont des variables, qui suivant le contexte sont connues. L'algèbre symbolique est utilisée pour représenter des formules applicables à plusieurs situations du même type. Par exemple la solution de $ax + b = c$ où x est l'inconnue et a, b, c paramètres de l'équation d'une droite. On peut donc déterminer x en fonction des autres variables, qui sont des constantes : $x = (c - b)/a$.

1.3 Processus d'apprentissage

Au début de leur apprentissage, les mathématiques sont très concrètes et ancrées dans la réalité. Les élèves commencent par découvrir les nombres, ils comptent des objets, ils apprennent à les additionner, les soustraire et les multiplier. Les nombres et les opérations sur ces nombres ont une représentation concrète dans le monde qui les entoure, par exemple compter des objets ou diviser un gâteau en plusieurs parts.

Durant la suite du programme, l'algèbre est introduite et avec elle les inconnues. Le fait d'utiliser un symbole pour représenter un chiffre qu'on ne connaît pas est déjà un éloignement d'un cas concret, mais de plus les élèves apprennent à utiliser les inconnues sans pouvoir se rattacher à une utilité dans la réalité. Ceci est dû à une introduction très abstraite des inconnues aux élèves. Ils commencent par travailler sur des parties littérales, c'est-à-dire des combinaisons d'inconnues et de coefficients de la forme $3xy^2$, pour comprendre le fonctionnement des inconnues et les nouvelles règles des opérations.

En travaillant sur des parties littérales, les élèves n'ont plus de lien avec la réalité. Cette abstraction des mathématiques devient donc un obstacle à leur apprentissage. C'est ce que soutient Adihou (2011) : « Les mathématiques ne font-elles pas souffrir ? À l'école primaire et secondaire, les élèves sont confrontés à des situations d'apprentissage en mathématiques et à des notions abstraites qui, pour la plupart, sont déconnectées à priori de leur vie quotidienne. » (p.92). Ces propos sont fondés sur une observation de Wolf (1984) qui perçoit l'enseignement comme un monde à part déconnecté de la réalité et qui en vient à comparer cela à une forme de maladie mentale. L'algèbre a donc une image plutôt péjorative d'après les autres.

2 Résolution de problèmes

Afin de faciliter la lecture nous allons commencer par un éclaircissement de terminologie. Durant leur apprentissage les professeurs demandent aux élèves des tâches mathématiques, appelé des exercices. Les exercices peuvent être de plusieurs formes différentes, allant de simple ligne de calcul jusqu'au taches plus complexe, nécessitant des schémas et des explications. Dans ce document nous utilisons le terme exercice pour parler d'une tache mathématique de tout type.

Pour contrer le problème d'abstraction que certains exercices peuvent provoquer, le programme scolaire suisse intègre un type d'exercice : les résolutions de problèmes. Les problèmes sont des cas concrets, des situations contextualisées dans leur langue maternelle que les élèves doivent comprendre et résoudre, pour répondre à la question qui leur est posée.

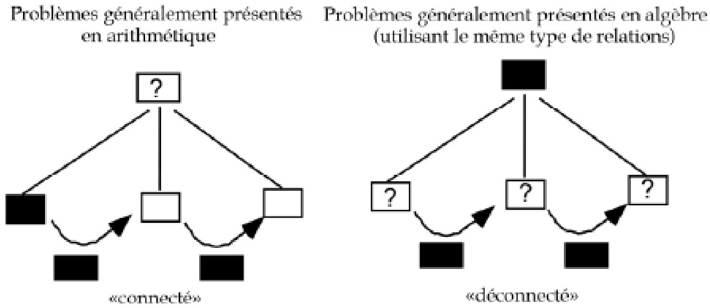
La résolution de problème est utilisée dans tous les domaines des mathématiques. Nous voyons dans le programme les modules MSN 13 et 23 traitants des problèmes arithmétiques puis le module MSN 33 traitant de l'introduction aux élèves de la résolution de problème algébrique. Dans le plan romand, les élèves en sortant de leurs années d'HarmoS doivent savoir résoudre des problèmes algébriques et arithmétiques et ceci dans les deux types de classes, pré-gymnasiale et générale.

Le programme utilise les problèmes pour consolider les connaissances, comme Adihou (2011) et Windsor (2010) l'ont montré, mais aussi pour « développer progressivement les capacités de problématiser des situations de mobiliser des outils et des démarches » (CDIIP, 2010, p.7). Adihou (2011) prétend que l'utilisation de résolution de problème permet de faire de la construction de connaissance plutôt que de la mémorisation. En effet, Adihou (2011) et Windsor (2010) explicitent qu'à travers la résolution de problème l'élève développe les compétences de questionnement et les schémas de pensée mathématique.

Bednarz et al. (1992) définissent les types de problèmes arithmétiques et algébriques en fonction des relations entre les données. Pour se faire, ils schématisent les problèmes en faisant une différenciation entre les données connues et inconnues, puis en schématisant leur lien. Les carrés blancs représentent les données inconnues et, inversement, les carrés noirs représentent les données connues, les flèches étant les liens qui sont explicité dans la formulation du problème. La figure 2 est une illustration de deux problèmes de nature différente, schématisé par cette méthode. (Bednarz & Janvier, 1996, p.123).

Figure 2

Représentation schématique des problèmes connectés et déconnectés (Bednarz & Janvier, 1996, p.123)



D'après eux, un problème arithmétique est un problème « connecté », c'est-à-dire qu'il y a un lien direct entre les données connues. Dans le problème connecté (Figure 2) nous voyons bien qu'une donnée inconnue, représentée par les carrés blancs, est lié à une donnée connue, représentée par les carrés noirs. Il existe un lien direct entre deux données connues.

Par exemple, John a 3 bonbons de plus que Camille. Alex en a 5 de plus que John. Sachant que Camille à 12 bonbons combien ont-ils de bonbons en tout ? Il y a un lien direct entre les bonbons de John et ceux de Camille. Ce problème peut être schématisé comme ci-dessus, en problème connecté.

Un problème algébrique, quant à lui, est « déconnecté » : un lien direct n'est pas possible entre les données connues, l'inconnue doit rentrer en jeu pour définir les relations. Dans le problème déconnecté, il est impossible de lier deux données connues sans passer par une donnée inconnue. C'est pour cela qu'il est considéré comme algébrique. Ainsi, comme Demonty (2008) le suggère, l'algèbre permet de représenter des problèmes plus complexes, où il n'est pas nécessaire d'avoir un lien entre des données connues.

Nous retrouvons donc deux types d'exercices en fonction des relations entre les données. Les élèves ont pour but de résoudre ces exercices. D'une façon générale, quand un élève résout un problème il passe par plusieurs étapes que les auteurs ont caractérisées. Le nombre d'étapes diffèrent selon les auteurs, mais les 3 étapes se retrouvant dans tous les modèles sont la compréhension du problème, la modélisation et la résolution.

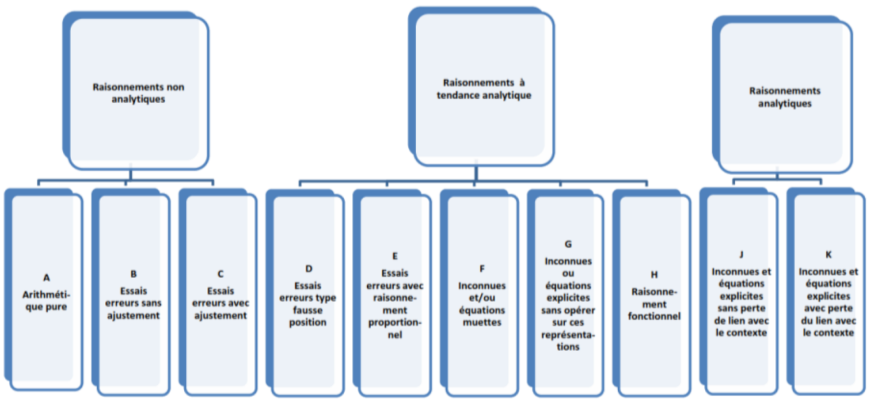
Les deux premières étapes forment la phase de représentation du problème. L’élève doit comprendre les données qu’il a et le lien entre ces données. Puis il résout le modèle qu’il s’est créé pour obtenir la réponse au problème.

Étant donné qu’il y a plusieurs types de problèmes, il y a plusieurs types de résolutions. Il faut bien différencier la nature du problème, déconnecté ou connecté, de la méthode de résolution utilisée. Durant le processus global de résolution du problème et notamment dans la modélisation du problème, l’élève choisit la méthode qu’il utilise pour le résoudre.

Squalli et al. (2020) catégorisent trois raisonnements que l’élève peut utiliser pour résoudre le problème : non analytique, à tendance analytique et analytique (voir figure 3). Ces raisonnements amènent l’élève à représenter le problème de manière arithmétique, intermédiaire ou algébrique.

Figure 3

Méthode et raisonnement possible quant à la modélisation et la résolution d’un problème (schématisation par Adihou et al. (2021), p.162



Le raisonnement non analytique (voir figure 4) est une démarche à valeur arithmétique. L’élève opère sur des données connues. L’élève use d’une résolution dynamique plaçant au centre de sa démarche le connu. Schmidt (1996) définit une procédure comme procédure arithmétique « lorsqu’il ressort que le sujet a entrepris une démarche de résolution de type synthétique où, constamment, il a pris appui sur des nombres connus pour effectuer les opérations successives qu'il croyait requises. » (p.280).

Figure 4

Résolution non-analytique, arithmétique, d'un problème

Un père partage une somme de 1800.- entre ses trois filles : Aurélie, Béatrice et Céline. Il donne 2 fois plus à Céline qu'à Aurélie et il donne 200 euros de moins à Béatrice qu'à Céline. Béatrice reçoit 600 euros. Combien les autres enfants ont-ils reçu ?	
$1800 + 200 = 2000$ $2000 \div 5 = 400$ ⇨ Aurélie a 400.- ⇨ Céline 800 ⇨ Béatrice 600	Ajout de l'argent qui différencie Céline de Béatrice Céline vaut 2 fois l'argent d'aurélie et Béatrice deux fois aussi, donc en tout on a 5 parts

Le raisonnement analytique est la démarche où l'élève va identifier une donnée inconnue et la considérer en la représentant par un symbole puis en l'utilisant dans sa démarche de résolution. Par l'utilisation des inconnues, ce raisonnement est algébrique. Ainsi durant la compréhension du problème, Didierjean et al. (1997) décrivent que l'élève va devoir identifier les quantités inconnues et les matérialiser par une lettre, comme le x ou y. Puis il devra modéliser le problème, c'est-à-dire articuler les relations entre les données grâce à une égalité. Ainsi il utilise l'équation comme un outil pour modéliser le problème (Adihou et al., 2021). Pour finir vient la phase de résolution, l'élève doit résoudre le modèle mathématique pour trouver la réponse.

Le raisonnement analytique dépend donc de la capacité de l'élève à identifier les inconnues. Ce raisonnement dépendant de cela, il existe des problèmes permettant à l'élève d'identifier plusieurs inconnues. Dans l'exemple suivant (voir figure 5), certains élèves n'utiliseront qu'une inconnue, quand d'autres en utiliseront deux.

Figure 5

Résolution analytique, algébrique, d'un problème

Un père partage une somme de 1800.- entre ses trois filles : Aurélie, Béatrice et Céline. Il donne 2 fois plus à Céline qu'à Aurélie et il donne 200 euros de moins à Béatrice qu'à Céline. Béatrice reçoit 600 euros. Combien les autres enfants ont-ils reçu ?
$x = argent\ de\ Céline$ $x - 200 + x + \frac{x}{2} = 1800$ $2x - 400 + 2x + x = 3600$ $5x = 4000$ $x = 800$ ⇨ Céline a 800.-, Béatrice a 600.- et Aurélie a 400.-

Le dernier raisonnement est le raisonnement à tendance analytique (figure 6). Comme son nom l'indique, il s'agit d'un raisonnement intermédiaire. Squalli et al. (2020) le découpent en trois classes de raisonnements. Le premier étant le raisonnement hypothéticodéductif, c'est-à-dire que l'élève impose une valeur à une inconnue et raisonne grâce à cette valeur. Ensuite il analyse les relations qu'il a créé grâce à cette valeur erronée pour trouver la bonne réponse. Dans les deux autres classes, l'élève va tout de même identifier les inconnues, voir leur donner un symbole, ou modéliser le problème avec lesdites inconnues mais il ne réalisera pas d'opérations sur ses inconnues. Il les utilise seulement pour se représenter les relations.

Figure 6

Résolution d'un problème par itération

Deux enfants ont chacun une collection de timbres. Alexandre possède 37 timbres de plus que Josée. S'ils ont ensemble 181 timbres, combien de timbres chacun a-t-il dans sa collection ?

José	Alexandre	Total
1	1+37= 38	39
2	2+37=39	41
3	3+37=40	43
...	...	...
72	72+37=109	181

Ainsi il existe plusieurs méthodes pour résoudre un exercice. Nous nous attendons à retrouver ces méthodes ou certaines de celles-ci dans les résolutions des élèves. Les problèmes ayant une forme définie comme connectée ou déconnectée, cette forme implique ainsi une méthode optimale théorique pour les résoudre. En effet, un problème déconnecté favorise une démarche analytique, comme le mettent en évidence Adihou et al. (2021). Demonty (2008) met en évidence que l'algèbre est un outil qui permet d'articuler des relations complexes entre les données, là où l'arithmétique serait obsolète.

A l'inverse d'un problème déconnecté, un problème connecté peut être facilement résolu avec une méthode non-analytique. Les relations entre des données connues étant directes, il est tout à fait possible de passer d'une donnée connue à une autre et d'avancer dans la résolution grâce à de simples calculs arithmétiques.

Même si Demonty (2008) indique que l'arithmétique peut complémenter l'algébrique en donnant un cadre concret, l'élève pouvant tester des valeurs numériques dans le modèle, Squalli et al. (2020) insistent sur le fait que la méthode à tendance analytique n'est pas la plus optimale, car elle est un intermédiaire entre les deux autres méthodes. De plus, une démarche par itération, illustré par le tableau 6, peut s'avérer très longue.

Pour résumer, chaque problème possède une nature connectée ou déconnectée. Or de la nature du problème découle un raisonnement optimal pour sa résolution. Un problème connecté a comme méthode optimal la méthode arithmétique, qui est plus directe, et un problème déconnecté a comme méthode optimale la méthode algébrique. Tous ces termes n'ont pas besoin d'être compris par l'élève, mais l'élève peut comprendre les notions associées à ces derniers à travers son éducation en mathématiques, et ainsi utiliser la méthode la plus optimale dans la résolution des problèmes

2.1 Mémoires et processus cognitifs dans l'apprentissage

Durant le processus de résolution de problème, les élèves utilisent leur connaissance disciplinaire, c'est-à-dire leur apprentissage en mathématiques, mais aussi des processus cognitifs variés utilisant notamment la mémoire. Chez les êtres humains, les processus cognitifs renvoient donc à des enchaînements d'opérations mentales en relation avec la saisie des informations, leur stockage et leur traitement.

Il existe trois composantes de la mémoire : le registre sensoriel, la mémoire à long terme et la mémoire à court terme, autrement appelé mémoire de travail. Le registre sensoriel regroupe les informations dépendant des sens, notamment la vue. Elle retient énormément d'information mais pendant un temps extrêmement court de quelques millisecondes. La mémoire à long terme est l'endroit où sont stockées les connaissances accumulées, durant plusieurs années. Les élèves l'utilisent en récupérant par exemple la réponse à un calcul qu'ils ont fait des dizaines de fois. Ils ont stocké en mémoire à long terme que 2+2 est égal à 4, ou encore leur table de multiplication.

La mémoire à court-terme est souvent appelé mémoire de travail, elle agit sur quelque seconde. Elle permet de stocker les informations qui sont en train d'être utilisée dans une tâche complexe, notamment dans les processus de raisonnement, de compréhension ou d'apprentissage (Baddeley & Hitch, 1974), d'où elle tire son nom. Un exemple d'utilisation de cette mémoire est la répétition d'un numéro de téléphone afin de le retenir pour le compose. Dans le cas de nos élèves, elle est utilisée quand les élèves retiennent les données du problème pour les utiliser dans leur calcul.

Baddeley et Hitch (1974) ont construit son premier modèle comportant le centre exécutif et deux systèmes de stockages à court terme : la loupe phonologique et le calepin visuel. Le centre exécutif est le système de contrôle de l'attention, il gère la coordination des systèmes de stockage et forme le lien entre les deux. Dans les décennies suivantes ce modèle a été amélioré en prenant en compte un accès à la mémoire à long-terme, à travers un quatrième système de stockage : le tampon épisodique.

La boucle phonologique est un registre de mémoire de stockage d'informations verbales et acoustiques. C'est par un processus de répétition articulatoire principalement que le stockage garde les informations. Le calepin visuel lui représente un tableau noir que nous avons visuellement sur lequel on écrirait mentalement pour retenir les choses. Les informations qu'il retient sont donc visuelle et spatiale.

Ces systèmes de stockage sont largement utilisés dans les études pour étudier la mémoire de travail. Les recherches ont notamment amené au concept d'empan. Les empans sont le nombre d'informations maximales qui peuvent être retenues grâce à ses systèmes. Par exemple, dans le cas d'un numéro qu'on répète pour le garder dans la boucle phonologique, les adultes retiennent en moyenne sept chiffres (Miller 1956).

Une notion importante, liée à ces empans et à la mémoire de travail est la charge cognitive. Elle représente le nombre d'éléments que l'apprenant doit stockés dans sa mémoire à court-terme afin de les mobiliser dans la compréhension. Ses éléments peuvent être des informations sous forme de lettre, de chiffres ou de mots et aussi des schémas. De plus, elle dépend aussi des liens entre les informations, et des opérations qui doivent être faites. Par exemple une phrase avec beaucoup de mot et des subordonnées a une charge cognitive plus grande qu'une phrase avec une grammaire simple.

La mémoire de travail et indirectement la charge cognitive est donc notamment importante dans la lecture mais aussi dans les mathématiques. Dans le cas des mathématiques la charge cognitive dépend du nombre de nombre et du nombre d'opération à associer. Dans cette même idée, un calcul mental comprenant 5 opérations successives demande plus de charge mental qu'un calcul d'une opération (Ayres, 2001). De plus il devient encore plus dur s'il comprend des chiffres de plus de cent, étant donné que cela augmente le nombre de caractères à retenir pour l'élève.

Pour étudier l'impact de la mémoire de travail sur l'apprentissage, les chercheurs se sont intéresse à mesurer le niveau de la mémoire de travail en l'étudiant à travers les processus de stockages. Les tests utilisés regroupent généralement plusieurs taches, des taches verbales de répétitions de mot ou de chiffres, et des taches de mémoire visuo-spatiales. La mémoire de travail est considérée comme haute en fonction des résultats des participants à ces tests. Plus leurs résultats à ces différents tests sont élevés, plus leur mémoire de travail est considérée comme grande.

Alloway et al. (2010) ont étudiés la place de la mémoire de travail dans les domaines scolaires. Ils ont pu prouver qu'une grande mémoire de travail impactait positivement les performances des élèves dans toutes les branches. Ils concluent donc que la mémoire de travail a un rôle à jouer dans tous les apprentissages que les élèves peuvent faire. Plusieurs chercheurs, comme Gaonac'h & Fradet, (2003) ou Anjariyah et al. (2022) ont confirmé ses résultats.

Les études montrent un impact de la mémoire de travail dans plusieurs, voire tout, les domaines mathématiques. Legg et Locker (2009) répètent que cette dépendance de la mémoire de travail commence au simple processus de comptage et dure jusqu'aux exercices complexes d'algèbre (Ayres, 2001).

Ainsi par cette nécessite de la mémoire de travail dans la résolution d'exercices mathématiques. Plusieurs recherches (Anjariyah, et al., 2022 ; Beilock & Decaro, 2007) ont analysé l'impact de la mémoire de travail sur les performances en mathématiques. Les résultats montrent qu'une bonne mémoire de travail est associé à de meilleure performance, notamment dans la résolution de problème. En séparant les élèves en deux groupes, ceux ayant une mémoire de travail faible et ceux ayant une forte, ils ont vu que le groupe avec une forte mémoire de travail avait de meilleures performances dans tout type d'exercice notamment la résolution de problème.

En faisant une méta-analyse des recherches sur la mémoire de travail et la résolution de problème, Andersson (2007) a mis en évidence le fait que le centre exécutif a une grande importance dans la résolution de problème. Il a notamment son importance dans le tri d'information. Pouvoir inhiber les informations non-nécessaire permet une meilleure résolution de l'exercice en se concentrant sur les informations nécessaires à la tâche (Beilock & Carr, 2005 ; Kane & Engle, 2000). C'est aussi une des conclusions de St Clair-[redacted]2006[redacted] qui lient la performance à la capacité de réduire l'accessibilité de l'information non pertinente. A travers cette capacité le centre exécutif de la mémoire de travail a une importance capitale dans la résolution de problème.

Commenté [JP1]: Here

Mais de plus, le lien entre la mémoire de travail et les mathématiques a été étudiés, à travers la résolution de problème. Palengka et al. (2021) a étudié deux cas singuliers de résolution de problème. L'un des participants étant un élève avec une mémoire de travail faible, quand l'autre en a une forte. Ils ont analysé des différences de résolution autant dans les décisions de résolution de problème et l'implantation des stratégies. L'élève avec une faible mémoire de travail était moins flexible sur ses stratégies, et donc n'analysait pas si sa stratégie de départ était la plus optimal quand l'autre élève a analysé plus en profondeur la stratégie à utiliser.

Beilock et Decaro (2007) analysent eux aussi à travers plusieurs expériences la place de la mémoire de travail dans la sélection de stratégie utilisé pour la résolution de problème mathématiques. Ils ont découvert que les élèves avec une plus haute mémoire de travail avaient tendance à utiliser des stratégies plus complexes, comme l'algèbre, tandis que ceux avec une faible mémoire de travail utilisait plus facilement des stratégies alternatives. Ses décisions provoquant une performance plus basse pour les élèves à faible mémoire de travail Mais pour aller plus loin ils ont analysé les performances en distinguant une résolution sous pression d'une résolution sans pression. Dans le cas d'une résolution sous pression, les différences de performance entre les élèves de différent niveau de mémoire de travail n'était plus visible, les élèves ayant une haute mémoire de travail étant plus impacté par la baisse de ressource dû à la pression.

Dans la deuxième expérience, Beilock et Decaro (2007) font passer un exercice qui demande une résolution simple. À nouveau ils ont testé les résolutions sous pression et sans pression. Dans la situation sans pression les élèves avec une faible mémoire de travail performent mieux que les élèves avec une forte mémoire de travail. La mémoire de travail a donc un impact sur l'utilisation de processus, mais elle ne se répercute pas de la même manière sur tous les processus.

Type d'erreur

Durant une résolution algébrique de problème, plusieurs difficultés apparaissent. Crahay (2008) a montré que construire le modèle d'après un problème est une difficulté pour les élèves. « Alors qu'ils sont 71,8% à maîtriser la technique de calcul lorsqu'elle est sollicitée de façon directe, ils sont moins de 20% à l'avoir mobilisée en situation complexe. » (Crahay, 2008, p.196). Tambychik et Meerah (2010) ont aussi analysé les difficultés des élèves dans la résolution de problème, la plus grande difficulté étant la catégorie que représente la formulation du problème en mathématique et la transcription des données en concept mathématique. Les études de PISA (OCDE, 2014) confirme que le problème principal des élèves est la formulation. Ainsi, dans notre expérience nous pouvons supposer que les élèves rencontreront la même difficulté. Nous pourrons observer si les élèves qui réussissent à poser un modèle du problème arrivent à finir l'exercice.

Bednarz et al. (1992) pense que ce problème est une difficulté majeure de la transition de l'arithmétique à l'algébrique : « Nos résultats suggèrent que la difficulté rencontrée dans le passage de l'arithmétique à l'algèbre se produit précisément dans la construction de la représentation du problème » (p. 71). En effet l'algèbre permet d'écrire un problème concret de manière plus abstraite et cela transparaît notamment dans la résolution du problème.

Cette modélisation a comme première difficulté : l'inconnue. Elle est un représentant de plusieurs nombres possibles, ainsi elle est tous les nombres et aucun à la fois. Cela est dur à comprendre pour les élèves. Ceux-ci devraient identifier exactement ce que représente cette inconnue mais ce n'est pas toujours le cas en pratique.

Prenons deux exemples de Demonty (2008), Vanessa (voir figure 7) utilise le x pour entamer ces équations mais indique seulement le résultat d'une opération algébrique. Puis elle réutilise le même processus. Ainsi elle change le symbolisme de son x et se perd donc dans ces calculs. Durant sa première étape son x ne représente l'argent d'aucune fille. Elle calcule, sans le savoir, la part moyenne. Ensuite elle calcule la part d'Aurélie avec le même x.

Figure 7

Extrait de la résolution de Vanessa (Demonty, 2008, p.237)

Un père partage une somme de 1800 euros entre ses trois filles : Aurélie, Béatrice et Céline. Il donne 2 fois plus à Céline qu'à Aurélie et il donne 200 euros de moins à Béatrice qu'à Céline. Béatrice reçoit 600 euros. Combien les autres enfants ont-ils reçu ?	
V écrit	$x = 1800\ euros : 3$
	$x = 600\ euros$
I :	Pourquoi divises-tu en 3 ?
V :	Parce qu'il y a 3 enfants
V écrit :	$x = 600\ euros : 2$
	$x = 300$
I :	Pourquoi divises-tu en 2 ?
V :	Parce qu'il donne 2 fois plus à Céline qu'à Aurélie
I :	Le x là-bas (montre la ligne x=1800 :3), que représente-t-il ?
V :	Euh…ben les parts
I :	Et celui-là (montre x = 600 : 2) ?
V :	Ben aussi les parts

Deuxièmement, la modélisation du problème par une équation implique l'utilisation correcte du symbole « = ». Dans une équation, il représente le point balance, indiquant que la partie de droite a le même poids que la partie de gauche. Cette interprétation du signe égal n'est pas intégrée par tous les élèves. Par exemple, Céline (voir figure 8) a un raisonnement juste, elle arrive au bon résultat mais elle n'a pas intégré le concept d'égalité par la perspective structurale et ne peux donc pas utiliser l'algèbre pour égaler $100 + 2x$ et $150 + x$. Pour elle ce n'est pas possible car il n'y a pas le résultat qui doit être à droite du signe « = ».

Figure 8

Extrait de la résolution de Céline (Demonty, 2008, p.237)

I :	Comment pourrais-tu écrire ton raisonnement ?
C :	Ben euh je ne sais pas parce qu'ici, on ne sait pas au départ combien ça fait la somme de Céline. Donc on ne saurait pas écrire une équation…
C :	Dans les autres, j'y arrivais parce qu'on savait chaque fois que, en tout, ça donnait quelque chose, mais ici, on ne le sait pas.
I :	Mais tu m'as dit que $100 + 2x$, c'est $150 + x$ et c'est égal à une même chose… Tu ne pourrais pas l'écrire par l'algèbre
C :	ben non, il me faut la part de Céline alors ça marche : $100 + 2x = 200$ et $150 + 1x = 200$

Un autre élément de difficulté pour les élèves provient des signes, principalement le signe moins. En effet jusqu'ici le signe moins a été interprété comme quelque chose qu'on enlève, l'inverse du plus. On aide souvent les élèves à comprendre ce symbole en se raccrochant à la réalité au fait d'enlever quelque chose. C'est pour cela que les calculs sont souvent de la forme $2 - 3$ et pas $-3 + 2$. L'algèbre, en ramenant des lettres, apporte une complexité au calcul mais une abstraction à faire : « Dans ce contexte le sens des opérations se modifie : il ne s'agit plus de considérer le polynôme comme un ensemble de termes qu'il faut ajouter ou soustraire » (Demonty, 2008, p. 253). Les élèves devant traiter un polynôme doivent traiter l'information des lettres, ce qu'ils peuvent, ou ne peuvent pas, associer, puis l'information des signes. Prenons le polynôme : $6x - 4y + 3x + 6y$. L'élève doit commencer par savoir qu'il doit soustraire ou additionner les termes semblables, c'est-à-dire les termes avec les x ou les termes avec les y. Puis, ensuite, comprendre où se déplace le signe. Il doit donc soustraire $4y$ à $6y$. Cela demande une certaine gymnastique mentale alors que cette action ne repose que sur une propriété fondamentale de l'addition : sa commutativité. Nous savons tous, et les élèves aussi, que $4 + 2 = 2 + 4$. Mais dans une équation de cette forme l'élève est submergé par les lettres et les signes, si bien qu'il en oublie les règles fondamentales qu'il connaît. Vlassis (2008) a testé la capacité des élèves à regrouper les bons membres de l'équation et à les soustraire ou additionner en fonction du nombre de termes qu'ils devaient déplacer. L'analyse des erreurs montre qu'une erreur très fréquente est l'utilisation des parenthèses. Les élèves mettent des parenthèses pour isoler les termes semblables, mais les parenthèses sont mal placées. Par exemple, pour l'équation $20 + 8 - 7n - 5n$, l'élève va isoler deux des termes en écrivant $20 + 8 - (7n - 5n)$. Les types d'erreur trouvées par Vlassis (2008) ne dépendent pas des inconnues mais principalement que du signe – et son utilisation.

La dernière complexité de ce signe est liée à l'utilisation de celui-ci. Il est souvent considéré comme une opération à faire, comme nous l'avons vu précédemment. Mais dans des opérations algébriques, les élèves doivent commencer à prendre en considération les chiffres négatifs et plus uniquement le symbole moins. En effet, les chiffres négatifs sont une des solutions que l'algèbre peut amener.

Ces difficultés peuvent être accentuées par les professeurs. En effet, Belli et Pech (2006) ont étudié les conséquences d'un manque de plaisir de son travail pour un enseignant. En conséquence possible, on peut noter que les problèmes proposés sont souvent déconnectés de la réalité et donc accentuent le côté abstrait des mathématiques. Cela n'aide pas les élèves à s'investir dans les exercices, malgré l'observation précédente qui liait l'exercice à un investissement dans les mathématiques. De plus, ils ont remarqué que les problèmes demandaient aussi plus d'utilisation de la mémoire de travail. Comme nous l'avons relevé plus tôt, les mathématiques demandent une coordination entre des connaissances et des ressources cognitives comme la mémoire de travail. Cette sollicitation de la mémoire de travail défavorise certains élèves, qui pourraient avoir un raisonnement juste mais dont les calculs sont incorrects.

3 Les mathématiques et les attitudes envers les mathématiques

Avec le développement de la psychologie cognitive, les modèles des apprentissage scolaires se sont fondés sur les nouvelles connaissances des processus cognitifs des élèves. (Berger & Büchel, 2012). Seulement ses modèles ont délaissé les dimensions affectives et motivationnelles. Or « savoir comment s'y prendre dans une tâche n'est pas suffisant en soi pour réussir à accomplir cette tâche. » (Berger & Büchel, 2012, p.98).

Ces dimensions non-cognitives, qui influencent l'apprentissage des élèves peuvent être étudiées de manière unique, pour étudier l'effet d'une seule de ses dimensions de manière ciblée, par exemple comme Durussel et Perret (2012) l'ont fait. Ces caractéristiques sont regroupées sous le terme d'attitude. Ces termes sont souvent utilisés dans les recherches mais il reste des variations très nombreuses dans les définitions données aux attitudes (Berger & Büchel, 2012).

Oppenheim (1992) donne une définition très globale : l'attitude est « une disposition, une tendance à répondre d'une certaine manière face à certains stimuli » (p.174). Les attitudes regroupent trois registres aux réponses provoqué par ce stimulus : un registre cognitif, un registre affectif et un registre comportemental (Venturini, 2004 ; Genoud & Guillod, 2014, Triandis, 1971).

Les registres cognitifs regroupent les croyances, les connaissances et les pensées du sujet sur l'objet des attitudes. (Genoud & Guillod, 2014). De Corte et Verschaffel (2008) distinguent trois types de croyances, les croyances à propos du soi, les croyances de contexte social et les croyances à propos de l'objet lui-même. Dans le cas des mathématiques, ce sont donc les connaissances de l'algèbre ou l'arithmétique mais aussi les croyances sur la masculinité des mathématiques. Les croyances à propos de soi se déclinent en quatre sous-catégories relatives à l'orientation personnelle, la valeur de la tâche, la contrôlabilité et l'auto-efficacité.

Le registre affectif est associé au registre cognitif puisqu'il se réfère aux émotions et ressentis associés à l'objet ou ces croyances. Ces émotions peuvent être négatives ou positives. Cela peut prendre la forme d'anxiété, de peur, de tristesse, de joie ou d'excitation. Le registre comportemental équivaut aux actions du sujet, ses buts, ses expériences passées et ses attentes.

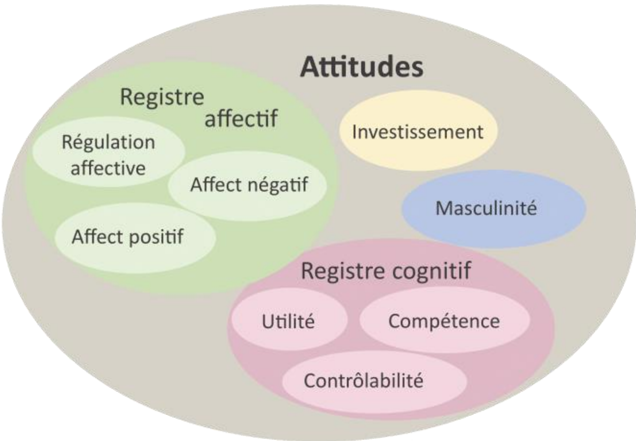
Le dernier registre se réfèrent au comportement du sujet, aux actions qu'il entreprend entre l'évitement et l'approche de l'objet en question, ici les mathématiques. Une spécification de ce registre est le registre conatif qui se réfère non plus aux actions, mais aux tendances et aux intentions, sans qu'acte il y ait (Fishbein & Ajzen, 1975).

Les mathématiques se révèlent être une branche qui suscite beaucoup de réactions différentes et dysfonctionnelles. C'est pour cela que beaucoup d'auteurs ont étudiés les liens entre les attitudes et les mathématiques (p.ex. Bouffard & Vezeau, 2006 ; Galand & Vanlede, 2004 ; Genoud et al., 2015 ; Le Hebel et al., 2014).

Genoud et Guillod (2014) ont construit et testé un questionnaire permettant de mesurer les attitudes des élèves envers les mathématiques. Ce questionnaire est composé de sept dimensions : la régulation affective, les affects négatifs et positifs, l'utilité, le sentiment de compétence, la contrôlabilité, l'investissement et la masculinité. Certaines de ces sept dimensions sont regroupées dans les registres cognitifs et affectifs, que nous avons évoqués avant (voir figure 9).

Figure 9

Schématisation des dimensions des attitudes



3.1 Utilité

Dans le registre cognitif, nous trouvons le concept de valeur donnée à l'objet. Elle représente la réponse à « Est-ce que je veux faire cette activité et pourquoi ? ». D'après la théorie de la valeur de la tâche de Eccles et Wigfield (2002), la valeur de la tâche comprend quatre caractéristiques : l'intérêt de la tâche, la valeur de la réalisation, l'utilité et le coût relatif.

Dans le cas du questionnaire, la valeur utilitaire est la valeur qui a été le plus retenue et donc qui est mesurée. Les items ne traitent pas que de l'utilité de faire des mathématiques ou cet exercice, que ce soit pour ses futures études ou son métier, mais aussi pour développer certaines compétences.

À travers cette utilité, nous touchons donc aussi aux buts de l'apprentissage des mathématiques, comme Bergeron (2016) l'a étudié. Eccles et Wigfield (2002) affirment que l'utilité dépend des raisons extrinsèques d'engagement, comme les études futures ou la profession désirée.

3.2 Sentiment de compétence

La deuxième dimension du registre cognitif est le sentiment de compétence. Bandura (1986) est le premier à parler de sentiment de compétence. Il définit ce concept comme la croyance en nos capacités. Nous imaginons des scénarios de finalité d'événements et ces scénarios définissent notre comportement face à cet événement. Ainsi si notre sentiment de compétence est bas, nous imaginons une finalité plus négative et nous pouvons donc vouloir éviter au plus possible cette finalité. Le sentiment de compétence peut déterminer aussi notre comportement face à une situation. Bouffard et Vezeau (2006) définissent le sentiment de compétence ainsi :

> Comportement influencé par nos scénarios dans nos têtes, nos anticipations de réussite ou d'échec associés à la perception que nous avons de nos capacités et il provoque différents types d'émotions comme l'excitation, l'enthousiasme, et la fierté ou à l'inverse l'anxiété, la honte et le découragement (p.10)

D'après ces quelques lignes ont peut donc faire l'hypothèse. S'il ne se sent pas compétent, il va vouloir éviter la situation et donc ne pas s'investir dans la résolution du problème (Galand & Vanlede, 2004). Galand et Vanlede (2004) a montré que si le sentiment de compétence est élevé alors l'élève aura des objectifs plus élevés, et sera donc plus persévérant.

Comme Genoud et Guillod (2014) ont pu le voir, il existe un lien entre le sentiment de compétence et les affects positifs et négatifs. Plus précisément, on peut s'attendre à ce que dans le cas d'un problème où l'élève évalue son sentiment de compétence comme élevé, il aura des affects positifs élevé aussi.

Certains auteurs s'intéressent surtout au côté négatif du sentiment de compétence, c'est-à-dire l'illusion d'incompétence. Cette illusion n'est pas seulement le produit d'une incompétence, mais aussi du sentiment de désarmement que ressent l'élève face aux mathématiques. Mais l'illusion d'incompétence n'est pas juste le fait d'être incompétent mais implique aussi souvent que l'enfant se sent désarmé face aux mathématiques. Il ne se sent pas compétent et il a aussi l'impression que cela ne dépend pas tant de lui, en associant d'autres paramètres à sa réussite, comme, le plus souvent, sa chance (Bouffard & Vezeau, 2006).

3.3 Contrôlabilité

La théorie des attributions est introduite par Heider (1958) dans les années 50. L'homme a un comportement dynamique, c'est-à-dire que son comportement va influencer le résultat d'un événement et celui-ci va lui-même influencer son comportement. De plus, la tendance de l'homme à interroger et expliquer les événements vécus, le fait chercher des explications aux événements. Weiner (1985) a conceptualisé les attributions causales comme nous les voyons aujourd'hui. Elles sont les explications émises par un individu sur les raisons de la finalité d'un événement, et, ici, dans le cadre scolaire, souvent les explications d'un succès ou d'un échec.

> Une attribution causale répond donc à un « pourquoi ». Cette recherche de la cause se produit davantage lorsqu'une personne se trouve face à un résultat non attendu ou quand un désir n'a pas été satisfait (Barbeau, 1991, p.17)

Le sentiment de compétence que nous venons de voir est la prévision des scénarios avant qu'ils ne se soient produits, il représente le « Qu'est-ce qu'il va se passer ? », et les attributions causales représentent l'après, le « pourquoi cela s'est passé comme ça ?».

Weiner (1985) donne trois caractéristiques aux attributions causales : l'origine de la cause, la stabilité de la cause et le contrôle de la cause. Les attributions causales étant en lien avec les émotions, Weiner (1985) schématise chaque étape par laquelle l'individu passe à la réception d'un résultat. Chaque étape est liée à une ou plusieurs émotions engendrées.

Dans ce questionnaire nous nous intéressons à la contrôlabilité des causes de l'échec ou de la réussite du problème. Cette dimension mesure donc si l'élève pense qu'il a un contrôle sur la réussite ou l'échec d'un exercice de mathématiques. Les questions sont donc axées sur l'influence que l'élève pense avoir sur l'évaluation ou l'apprentissage des mathématiques.

Mais de plus, Seligman (1975) théorise l'impuissance apprise, c'est-à-dire d'élève qui n'attribue leur échec ou réussite qu'à des causes incontrôlables instables. Ce sentiment peut engendrer, en plus d'émotions négatives, des abandons plus précoces et donc un manque d'investissement des élèves.

3.4 Affects positifs et affects négatifs

Dans la littérature comme dans le langage courant, plusieurs termes regroupant les concepts affectifs sont utilisés de manière interchangeable (Pasquier, 2021) Il est donc important de commencer par clarifier la définition des affects et plus particulièrement de les différencier des émotions - terme souvent utilisés dans les recherches.

Dans la théorie de Spinoza, les affects regroupent tout état d'esprit affectif, cela comprend donc les humeurs, les émotions et les sentiments. Ainsi les affects ont une notion d'intensité et de valence. Ils sont plus ou moins forts ainsi que positifs ou négatifs. Barbier (2017) précise que les affects sont des variations, ils dépendent de l'activité de l'individu et de la variation affective ou physique engendré par cette activité.

Plusieurs recherches (Bieg et al., 2014 ; Cuisinier, 2018 ; Evans, 2000 ; etc) étudient les émotions plutôt que les affects. Ces émotions sont plus précises, nommées par les participants ou les chercheurs comme la joie, la peur, la colère et d'autres. Ainsi elle se différencient par leurs noms et pas seulement par leur valence positive ou négative. Mesurer les émotions et mesurer les affects ne se fait pas de la même manière, cependant l'un et l'autre sont fortement lié, et quelquefois l'études des émotions se fait par l'étude des affects.

En plus de cela, alors qu'en français le terme affects est très peu utilisé, affect est employé comme synonyme ou comme égal au mot émotion dans la littérature anglaise, rendant la traduction quelque fois complexes. Ainsi dans ce document nous gardons utilisé le terme émotions quand les études font référence à la joie, la peur, l'anxiété etc tandis que nous traiterons d'affect pour les états affectifs positif ou négatifs, comme la définition présentée plus haut.

Les mathématiques sont une branche qui provoquent de fortes réactions affectives. Adihou (2011) parle de souffrance liée aux mathématiques. Il avance que la peur et l'anxiété peut amener à un abandon ou à des échecs ; certaines situations des mathématiques, comme les exercices déconnectés de la réalité et l'erreur, peuvent provoquer des souffrances chez les élèves.

De plus, les émotions pourraient avoir un effet sur la régulation de celles-ci. Pekrun et al. (2009) étudient les émotions et leur régulation. Ils supposent que « les émotions positives activantes, telles que le plaisir d'apprendre, renforcent l'autorégulation, tandis que les émotions négatives, telles que l'anxiété ou la honte, facilitent le recours à des conseils extérieurs » (p.27).

3.5 Régulation affective

Le modèle de Goleman (2001) définit quatre compétences émotionnelles ; la conscience de soi, la maîtrise de soi, la conscience sociale et la gestion des relations. La maîtrise de soi est, dans sa définition, la régulation émotionnelle. Goleman (2001) définit la compétence de régulation comme la capacité de ne pas se laisser perturber par des situations stressantes. Même si d'autres auteurs incluent aussi la capacité à renforcer les affects positifs (Krohne, 2003), le questionnaire se focalise sur la capacité de gérer le stress ou les affects négatifs.

Comme nous l'avons vu précédemment, les émotions sont en relation avec plusieurs variables qui elles peuvent influencer la réussite. L'intelligence émotionnelle, et donc la régulation émotionnelle, est une caractéristique importante pour la performance. En effet, plus la régulation émotionnelle est forte, plus les ressources cognitives seront disponibles pour la résolution des exercices et de la situation.

3.6 Investissement

Cette échelle est une auto-évaluation. Ces items reflètent « l'évaluation que fait l'élève de sa propres implication actuelle pour son apprentissage » (Genoud & Guillod, 2014, p.144). Les items concernent le travail investi et la concentration pour les exercices en cours et à la maison ainsi que sur le temps consacré au travail des mathématiques.

Comme nous l'avons déjà évoqué plus haut, plusieurs variables sont en lien et peuvent s'influencer, comme le sentiment de compétence et l'utilité. Il a été montré qu'un élève qui ne croit pas en ces compétences dans un domaine ne va pas s'investir dans la résolution d'un exercice dans ce domaine (Chouinard et al., 2007).

3.7 Masculinité

Durant plusieurs décennies, les chercheurs se sont intéressés au stéréotype. Mc Garty et al. (2002) définissent cella comme un ensemble de représentations ou d'impression attribuées à un individu selon son appartenance à un groupe. Un stéréotype répandu dans la société est le stéréotype de genre des mathématiques.

Cette croyance consiste à penser que le domaine mathématique est un domaine masculin, c'est-à-dire que « males are more suited to pursue studies in mathematics than are females » (Forgasz et al., p. 391). De cette pensée à découler la croyance que les femmes sont moins performantes en mathématiques, amenant plusieurs études à justifier des écarts de performance par le genre. Cependant, depuis plusieurs dizaines d'années, de nombreuses épreuves standardisées sont faites afin d'évaluer le niveau de chaque pays. Ces épreuves, comme TIMSS (Mullis et al. 2000) et PISA (OCDE, 2014), révèlent que les différences de performances entre les genres sont inexistantes.

Pour autant il est encore vrai que les filles se dirigent moins vers des carrières scientifiques et mathématiques que les garçons : 5% des filles se destinent à des carrières scientifiques contre 18% des garçons (OCDE, 2014). Ce choix d'orientation professionnel est révélateur d'une différence d'attitudes des filles envers les sciences. En effet, Venturini (2004) remarque qu'à partir du secondaire les filles sont moins motivés, ressentent moins de plaisir à faire des mathématiques que les garçons. De plus, les filles se perçoivent comme moins performante à l'école en science et en mathématiques que les garçons. (Breakwell & Robertson, 2001). Or, cela est faux aux vues des derniers résultats des études.

Le stéréotype de genre des mathématiques est encore bien ancré dans les croyances des élèves, même s'il a été réfuté au niveau des performances. Ainsi l'échelle de masculinité a pour objectif de mesurer la force de la croyance en ce stéréotype chez l'élève. Il s'agit d'estimer si l'élève en question croit en ce stéréotype.

4 La résolution d'un problème à la lumière des attitudes

Les attitudes sont donc une dimension intéressante dans la compréhension des élèves durant leur apprentissage. [redacted] rappelle que les attitudes ne s'analysent pas manière isolée : *« n'y a pas de mécanisme cognitif sans éléments affectifs…il n'y a pas non plus d'état affectif pur sans état cognitif »*

Commenté [JP2]: Here

4.1 Méthodes

D'après De Corte et Verschaffel (2008) et Schoendfeld (1985), les croyances ont un impact sur la manière dont l'élève va aborder le problème. Dans la définition des attitudes de Lafortune et al. (2002), on retrouve le fait que les attitudes déterminent une manière d'être. Or nous savons que les problèmes peuvent être résolue par plusieurs méthodes. Si les attitudes dépendent d'un état d'esprit, d'une manière d'être, le choix de la méthode que l'élève fera durant les étapes de résolution du problème peut être déterminé par cet état d'esprit que sont les attitudes.

C'est ce que certains auteurs ont déjà remarqué durant des recherches à propos des émotions. En effet, d'après eux, des émotions différentes provoquent des actions différentes (Frijda, Kuipers & Schure, 1989; Plutchik, 1980; Roseman, Wiest & Swartz, 1994). Roseman et al. (1994) a notamment analysé des situations de la vie. Ils ont analysé les émotions ressenties et les réactions comportementales qu'elles provoquaient. Par exemple, la détresse et la tristesse provoque une fuite, quand le regret provoque une réflexion vers une solution pour sortir du problème. Tzorah et al. (2014) étend l'impact des émotions à la régulation et ainsi à la sélection des stratégies utilisées durant les exercices de mathématiques. D'après lui les affects négatifs inciteraient à être très inflexible quand les affects positifs rendraient l'élève créatif.

En faisant une analyse de cas, Op't Eynde et Hannula (2006) ont pu confirmer que les émotions ressenties dirigeaient les stratégies. Ils ont fait une étude de cas : Frank résolvait un problème alors que les chercheurs lui posaient des questions sur ses ressentis durant la résolution. Cette analyse a permis de mettre en évidence que les émotions étaient un facteur de remise en question de la stratégie utilisée. En effet, la colère ou le désespoir amenaient Frank a changé de stratégies de résolution du problème. Quand Frank se retrouve face à une difficulté, il ressent des émotions négatives et cela le pousse à remettre en question la stratégie utilisée pour la résolution du problème. C'est en ressentant les émotions qu'il comprenait qu'il faisait fausse route et qu'il devait essayer d'une autre manière.

Ainsi ils confirment ce qu'Evans (2000) remarque, les émotions impactent la prise de décision et les processus cognitifs. Les études ont essayé d'analyser les processus cognitifs que les émotions pouvaient influencer.

Dans ces processus plusieurs ont étudié la mémoire de travail. Blaney, dès 1986, théorise le fait que les émotions peuvent atteindre le nombre d'informations stockées. En effet, il pense que des émotions négatives réduisent l'empan phonologique et visuel que l'élève a. Durussel et Perret (2012) a confirmé cette théorie. Il a remarqué que les élèves les plus anxieux avait moins de ressource pour l'utilisation de la mémoire de travail. De plus, Legg et Locker (2009) ont testé cette théorie. Il a notamment remarqué que l'anxiété avait un effet négatif sur la mémoire de travail et plus particulièrement sur un problème d'ordre algébrique. D'après lui l'abstraction des inconnues provoque une charge cognitive plus grande durant une résolution de problème et cela se ressent donc d'avantage quand les élèves sont anxieux. Pekrun et al. (2002), lui aussi, a remarqué que les affects peuvent améliorer ou détériorer la mémoire de travail. D'après lui, les émotions utilisent des ressources cognitives empêchant donc une utilisation optimale de la mémoire de travail. Cet impact des affects négatifs sur la mémoire de travail, s'il est confirmé, soutient ~~confirme~~ que les affects négatifs peuvent impacter la performance de l'élève au problème

A travers plusieurs expériences, Beilock et Decaro (2007) se sont intéressé à l'impact d'une situation sous pression sur la mémoire de travail dans la sélection de stratégie utilisée pour la résolution de problème mathématiques. Ils ont découvert que les élèves avec une plus haute mémoire de travail avaient tendance à utiliser des stratégies plus complexes, comme l'algèbre, tandis que ceux avec une faible mémoire de travail utilisait plus facilement des stratégies alternatives. Ce choix d'une stratégie plus simple entraine néanmoins une baisse de performance pour les élèves à faible mémoire de travail. Mais pour aller plus loin ils ont analysé les performances en distinguant une résolution sous pression d'une résolution sans pression. Dans le cas d'une résolution sous pression, les différences de performance entre les élèves de différent niveau de mémoire de travail n'était plus visible, les élèves ayant une haute mémoire de travail étant plus impacté par la baisse de ressource dû à la pression.

Dans la deuxième expérience, Beilock et Decaro (2007) font passer un exercice qui demande une résolution simple. A nouveau ils ont testé les résolutions sous pression et sans pression. Dans la situation sans pression les élèves avec une faible mémoire de travail performent mieux que les élèves avec une forte mémoire de travail.

Ainsi ils prouvent premièrement que la méthode utilisée à un impact sur la réussite de l'exercice. Mais aussi que la situation émotionnelle de stress que l'élève peut ressentir impactera la relation entre sa stratégie et la réussite du problème. Ashcraft et Krause (2007) pensent que l'impact de l'anxiété sur les performances n'est pas toujours le même dans différentes situations. Ils ont testé cette théorie pour des calculs arithmétiques, mais dans le même ordre d'idée nous pouvons supposer que **H 1 : les affects négatifs ont un effet modérateur sur la relation entre la méthode utilisée pour la résolution du problème et la réussite au problème**. Plus précisément, étant donné que l'abstraction de l'algèbre ait un lien avec la mémoire de travail et que l'anxiété des élèves aient lui aussi un lien avec la mémoire de travail, nous pouvons poser supposer que les élèves utilisant la méthode algébrique auront plus de peine à performé avec des affects négatifs élevé que des élèves utilisant une autre méthode.

4.2 Les élèves, les attitudes et la réussite

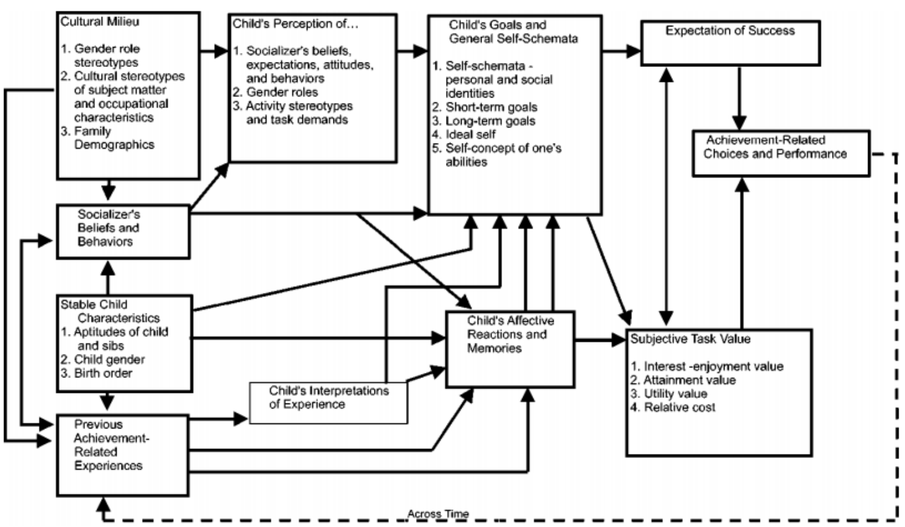
Les études faites sur les attitudes des élèves s'intéressent à la santé mentale et le bien-être des élèves, mais aussi à la performance des élèves dans les branches (Aiken, 1970). En effet, les études travaillant sur les attitudes recherchent souvent le lien avec la réussite des élèves dans la branche étudiée. Aiken (1970) voit une relation bilatérale entre les attitudes et la performance « The relationship between attitudes and performance is certainly the consequence of a reciprocal influence, in that attitudes affect achievement and achievement in turn affect attitude ». Nous pouvons aussi nous fonder sur le modèle de Eccles et Wigfield (2002) « Expectancy-Value theory » qui reprend plusieurs concepts proches des attitudes évoquées.

Par exemple, la masculinité apparait dans la variable *Gender role stereotypes*, ou encore *Child's affective reaction and memories* qui comprend les affects positifs ou négatifs. Ce schéma a pour but de définir les variables qui déterminent la performance des élèves. Ainsi nos attitudes se retrouvent dans un processus de détermination de la réussite de l'élève.

S'intéresser aux variables impactant la réussite permet de réagir pour aider les élèves. Une manière de comprendre ces liens sur la réussite est d'essayer de prédire la réussite de l'élève grâce aux attitudes. Plusieurs auteurs (Kim et al., 2014 ; Hoffman, 2007 ; Fernandez-Cézar et al., 2021) ont déjà fait cette analyse avec certaines attitudes, notamment les émotions. Nous pouvons nous demander quelle variable permet de prédire la réussite de la méthode.

Figure 10

Modèle Expectancy value theoriy (Eccles & Wigfield, 2002, p.119)



Pour commencer, la plupart des études s'intéressent à l'anxiété et son effet sur la performance, comme Zeidner (2007), Devine et al. (2012) ou Legg et Locker (2009). Devine et al. (2012) ont analysé sur des élèves de 12 à 15 ans leur performance à un test mathématique en fonction de leur anxiété durant l'exercice. La mesure de l'anxiété s'est faite par une auto-évaluation portant sur des items concernant les réactions émotionnels, cognitives et comportementales de l'enfant. Ils ont trouvé un fort lien négatif entre l'anxiété et la performance au test. Les élèves de tout âge et de tout genre ayant de l'anxiété ont une plus faible performance.

L'anxiété n'est pas la seule émotion testée par les recherches. Kim et al. (2014), quant à lui, a aussi analysé l'impact des émotions sur la réussite et il a notamment essayé de prédire la réussite en fonction des émotions. Son étude s'intéresse à sept émotions : l'ennui, l'anxiété, le plaisir, la colère, la honte, la fierté et le désespoir. Ses résultats ont révélé la colère comme le plus grand prédicteur, devant l'ennui et le plaisir.

Si l'anxiété et la colère a un effet sur la réussite dans certaines études nous pouvons nous attendre à ce que les élèves ayant plus d'affects négatifs réussissent moins les problèmes de notre étude et donc poser l'hypothèse **H2 : Le score des affects négatifs est plus élevé dans le cas d'un échec au problème.**

Comme Kim et al. (2014), les études s'intéressant aux émotions analysent aussi les émotions positive comme la joie. En effet, Kim et al. (2014) a trouvé que le plaisir durant un exercice est l'un des prédicteurs de la réussite à l'exercice. Ma (2022) a lui analysé l'impact de l'importance de l'exercice, de sa difficulté et du plaisir sur la réussite.

Mullis et al. (2000) ont participé à l'analyse de l'enquête TIMSS. Cette enquête a pour but de faire une revue globale de l'éducation, autant dans les attitudes que dans les performances, à travers le monde. Mullis et al. (2000) s'est concentré sur les différences de performance et d'attitude entre les genres. Pour autant, il a remarqué une corrélation entre des attitudes plus positives et une réussite au test. Les attitudes positives envers les mathématiques regroupent des émotions positives, comme la joie, un sentiment de compétence élevée et une envie de s'investir. Ainsi nous pouvons supposer que **H3 les affects positifs liés aux problèmes sont plus élevés dans le cas d'une réussite au problème associé.**

Commenté [M3]: Càd ?

Les états émotionnels influencent les processus cognitifs et donc les performances des élèves (Pekrun et al., 2009). En analysant l'enquête TIMSS, Mullis et al. (2000) trouvent une corrélation entre une attitude positive et la réussite aux tests.

En plus des émotions, le modèle d'Eccles met en évidence la place des croyances sur la performance. En effet, on retrouve « Self-concept of one's ability ».

Les études de PISA en 2012 ont analysé le sentiment d'efficacité personnelle en mathématique, et plus précisément le lien entre cette échelle et la performance en mathématiques. Les résultats ont montré que les élèves ayant un plus haut score de sentiment d'efficacité avait de meilleures performances dans les tests mathématiques. Ce lien a été testé aussi par Ayotola & Adedeji (2009) pour un ensemble de 25 exercices de mathématiques. Les élèves évaluaient à la lecture rapide des exercices leur capacité à les réussir puis ce score était comparé à leur performance aux 25 exercices. Les résultats étaient attendus : plus leur évaluation d'efficacité était haute plus leur performance étaient élevées. Ainsi nous pouvons supposer que H4**le sentiment de compétence lié à une tache est plus élevé quand l'élève réussit l'exercice**.

Pour analyser plus en avant la place de ce sentiment de compétence Aristoklis et Philippou (2018) ont eu aussi testé ce lien. Mais de plus ils ont cherché à prédire la performance en mathématiques. Le sentiment de compétence a été mesuré en lien avec un type de problème et la réussite a été évalué pour les problèmes précis et pour les mathématiques en générales. Le sentiment de compétence lié a la résolution de problème et celui lié aux mathématiques sont des variables prédicatrice de la réussite en mathématiques. Ainsi nous pouvons poser l'hypothèse inverse que **H5les élèves réussissant des taches mathématiques ont un sentiment de compétence en mathématiques plus élevés.**

4.3 Différence d'émotion par contexte

Les analyses faites sur les attitudes des élèves ont été testées sur des branches différentes. Par exemple Goetz et al. (2007) ont testé les attitudes en fonction de quatre branches scolaires, des langues et des sciences. Cela étant pour analyser l'impact des attitudes envers une branches sur les attitudes envers d'autre branches scolaires. Ils ont pu voir que si les domaines se ressemblent, comme la physique et les maths, les attitudes sont liées. Cependant, ils ont majoritairement vu que ces attitudes n'étaient pas liées. Ainsi ils favorisent des attitudes spécifiques au domaine plutôt qu'entre domaines.

Mais certaines études s'intéressent à la différence d'attitude et de performance suivant le contexte de l'utilisation des mathématiques (Ebiner, 2014). Dans un contexte de cours de français les élèves réussissaient mieux l'utilisation des mathématiques. De plus, il a pu remarquer que dans le contexte de cours de mathématiques c'est le sentiment de compétence qui déterminait la réussite alors que dans le cours de français ce sont les affects positifs.

Pour aller plus loin, d'autres tests ont été fait en différenciant les type de domaine dans la même branche. Par exemple, Gafor et Kurukkan (2015) analyse les attitudes en différenciant ceux par rapport à la géométrie de celles par rapport à l'algèbre. Les résultats montrent que les élèves préfèrent la géométrie et la trouve plus simple, ceci se reflétant dans les performances. Les élèves réussissent mieux les exercices liés à la géométrie que ceux d'algèbre. C'est aussi ce que Ma (2022) a démontré en analysant la différence entre des questions d'algèbre de géomètre et de trigonométrie. Elle s'intéressait à la relation entre les attitudes et la performance mais a étudié les 3 domaines des mathématiques. Celui lui a permis de voir que la difficulté perçue a un impact sur le plaisir de la résolution de l'exercice, qui à son tour impacte la performance.

Tornare et al. (2015) a confirmé que la difficulté d'un exercice pouvait influencer plusieurs attitudes et bien évidemment la performance à l'exercice. D'autres auteurs ont testé des différences de performance et d'attitudes en fonction d'exercice de complexité différente. Berger et Büchel (2006) par exemple a fait deux exercices l'un plus dur que l'autre, demandant plus d'étape dans la résolution, en testant des liens motivationnels. Dans les deux problème les liens entre les dimensions évalué étaient très proches. Les modèles découlant des problèmes sont très semblables. A l'inverse, Hoffman et Schraw (2009), en réalisant un test similaire utilisant deux problèmes de complexité différente, a pu remarquer que le degré de complexité du problème influait sur l'importance du sentiment de compétence dans la prédiction de performance de l'élève. Cette prédiction n'a cependant pas été testé par Berger dans son étude.

Ainsi plusieurs auteurs se posent la question d'une différence d'attitudes en fonction des domaines ou du contexte des mathématiques. Notre travail s'intéressant aux attitudes durant cette transition entre l'arithmétique et l'algébrique, nous pouvons nous demander s'il existe des différences d'attitudes entre les deux exercices. Si certains ont vu des différences de l'impact du sentiment de compétence ou des affects dû à la complexité des exercices, il est possible que des différences se perçoivent aussi entre nos deux problèmes.

Méthodologie

5 Échantillons

La récolte de donnée a eu lieu dans deux établissements du canton de Fribourg dans la période de printemps 2018. Les élèves sont répartis dans 4 classes de type général (*N* = 65) et 4 de type pré-gymnasial (*N* = 117), comprenant un total de 184 élèves. Trois données ont été enlevées, car incomplètes. Les élèves sont tous en 11ème HarmoS et ont entre 14 et 16 ans. Dans l'échantillon restant nous avons 98 filles et 82 garçons, un élève n'ayant pas renseigné son genre.

6 Passation et questionnaire

Nous avons utilisé le questionnaire évaluant les attitudes envers les mathématiques de Genoud et Guillod (2014). Ce questionnaire (voir annexe 1) est une auto-évaluation de 45 items sur une échelle de Likert de 1 à 5, comportant sur les perceptions des élèves sur les mathématiques et leur relation aux mathématiques. Il regroupe des items portant sur sept dimensions : utilité, compétence, investissement, contrôlabilité, régulation, affects positifs et négatifs, et masculinité.

Les variables du questionnaire générales ont une distribution proche de la distribution normale. En effet les coefficients d'asymétrie et de kurtosis respecte les bornes de la distribution normale pour les variables de sentiment de compétence, de contrôlabilité, d'affect positif, de régulation affective et d'investissement. Cependant la masculinité ne suit pas une distribution normale. Tandis que la distribution de l'utilité a une asymétrie négative alors que celle d'affects négatifs a une asymétrie positive. Les échelles ont toujours un minimum atteint entre 0 et 0.50 alors que leur maximum atteint est de 5.

L'homogénéité interne des échelles a été testé par le calcul d'alpha de Cronbach des échelles (voir tableau 3). Ainsi elle peut être comparée à celle dans l'article de validation du questionnaire. Nous pouvons voir que pour plusieurs variables les résultats du test sont proches. La différence se remarque surtout pour la contrôlabilité, qui a une homogénéité interne plutôt basse.

Tableau 2

Statistiques descriptives des attitudes globales envers les mathématiques

Attitudes	*Moyenne*	*Ecarts-type*
Utilité	3.35	1.06
Sentiment de compétence	2.68	1.46
Investissement	2.93	1.05
Affects Positifs	1.91	1.44
Affects Négatifs	1.44	1.11
Masculinité	0.32	1.04
Contrôlabilité	2.98	1.01

Tableau 3

Homogénéité interne des échelles des attitudes globales envers les mathématiques

Attitudes	*Alpha de Cronbach de notre questionnaire*	*Alpha de Cronbach de référence (Genoud & Guillod, 2014)*
Utilité	.75	.80
Sentiment de compétence	.91	.94
Investissement	.82	.83
Affects Positifs	.94	.93
Affects Négatifs	.79	.88
Masculinité	.84	.86
Contrôlabilité	.58	.74

Ce questionnaire a aussi été modifié pour en faire un questionnaire « état » (voir annexe 1) mesurant cinq de ses dimensions : utilité, compétence, affects positifs et négative, et investissements liés au problème. Les items du questionnaire « état » sont tiré du questionnaire générale et modifié pour parler d'une activité plutôt que les mathématiques. Chaque dimension est mesurée par deux items. Le tableau 4 présente un exemple d'item pour chacune des dimensions.

Tableau 4

Exemple d'items des dimensions des questionnaires états des problèmes

	Exemple d'items
Utilité	Cet exercice permet de développer d'autres compétences.
Affects positifs	Résoudre cet exercice m'a rendu.e de bonne humeur.
Affects négatifs	Beaucoup de pensées négatives m'envahissent durant les cours de maths.
Investissement	Je me suis efforcé.e de faire au mieux durant cet exercice.
Sentiment de compétence	Je suis doué.e en maths.
Contrôlabilité	Mon travail a une influence sur mes résultats en maths.
Régulation affective	Je parviens à gérer mes émotions durant le cours de maths.
Masculinité	Le cerveau des garçons est plus adapté à l'apprentissage des maths

L'analyse descriptive de ces échelles est plus difficile car chaque échelle est mesurée par deux items. Presque toutes les variables ont de l'asymétrie, à l'exception de l'utilité « Pantalon », Affects positifs « Pantalon », Sentiment de compétence « train » et Utilité « train ». L'aplatissements des courbes est aussi différent que la distribution normale pour la majorité des variables, à l'exception de l'investissement « pantalon », les affects négatifs « train » et les affects positifs « train ».

Tableau 5

Statistiques descriptives des échelles d'attitudes aux problèmes

Attitudes	*Moyenne*	*Ecarts-type*
Utilité « Pantalon »	2.68	1.33
Sentiment de Compétence « Pantalon »	4.16	1.04
Investissement « Pantalon »	3.75	1.31
Affects Positif « Pantalon »	2.40	1.65
Affects Négatif « Pantalon »	0.32	0.66
Utilité « Train »	2.70	1.45
Sentiment de Compétence « Train »	1.99	1.48
Investissement « Train »	2.44	1.48
Affects Positif « Train »	1.40	1.42
Affects Négatif « Train »	0.95	1.13

Pour autant leur valeur minimum atteinte est elle aussi entre 0 et 0.5 alors que la valeur maximale atteinte est de 5 pour toutes les variables, à l'exception des affects négatifs « pantalon ». Cette variable a, comme valeur maximale atteinte, 4.

Nous avons fait les tests d'homogénéité des variables états. Ces tests sont moins fiables car les échelles comportement seulement que deux items. Le tableau 6 regroupe les résultats de ces tests.

Tableau 6

Homogénéité interne des échelles d'attitudes états des problèmes

	Alpha		*Alpha*
Utilité « Pantalon »	.55	*Utilité « Train »*	.67
Sentiment de Compétence « Pantalon »	.63	*Sentiment de Compétence « Train »*	.76
Investissement « Pantalon »	.72	*Investissement « Train »*	.87
Affects Positif « Pantalon »	.87	*Affects Positif « Train »*	.89
Affects Négatif « Pantalon »	.41	*Affects Négatif « Train »*	.46

En ce qui concerne la procédure, les élèves ont eu 10 minutes pour résoudre un premier problème, puis 5 minutes pour compléter le questionnaire état associé à ce problème. Ensuite, ils ont à nouveau 10 minutes pour résoudre le deuxième problème et 5 minutes pour compléter le questionnaire état. Pour terminer, ils ont rempli le questionnaire général plus large sur les attitudes envers les mathématiques (en 10 minutes). Les deux problèmes ont été contrebalancés afin que tous les élèves ne les résolvent pas dans le même ordre.

Problème algébrique des trains :

> Il y a 576 passagers à transporter entre deux villes. On dispose de deux trains pour le faire. Un des trains a uniquement des wagons à 12 places et l'autre, uniquement des wagons à 16 places. En supposant que le train formé de wagons à 16 places ait 8 wagons de plus que l'autre, combien doit-on accrocher de wagons après chacune des deux locomotives ?

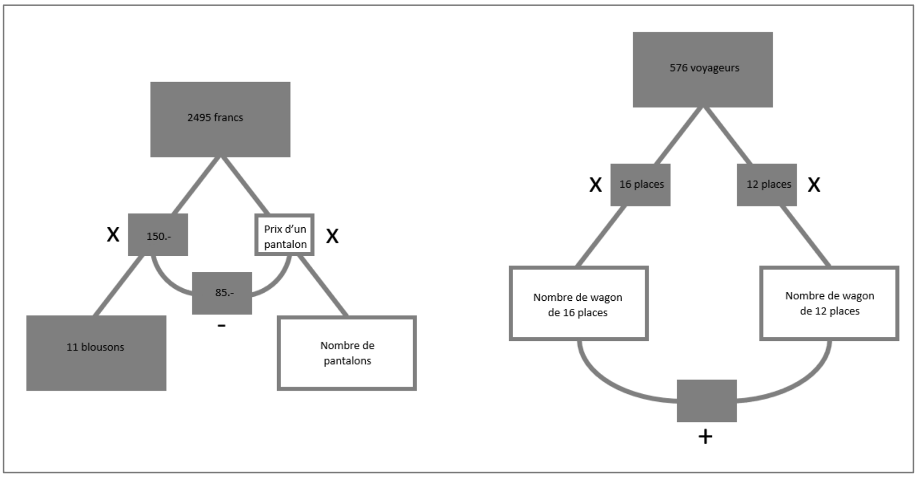
Problème arithmétique des pantalons :

> M. Beaulieu paie pour l'achat de pantalons et de 11 blousons 2 495 $. Le prix d'un pantalon est de 85 $ de moins que celui d'un blouson. Sachant qu'un blouson coûte 150 $, combien a-t-il acheté de pantalons ?

Comme la figure 11 le montre, la construction des problèmes et les connexions entre les données font que le problème des pantalons est un problème connecté donc arithmétique, tandis que le problème de trains est déconnecté, donc algébrique. Les deux problèmes contiennent autant de données, et le même schéma, leur différence vient seulement de l'emplacement des données connues.

Figure 11

Schématisation des problèmes par leur nature connectée ou déconnectée (construction par l'auteur sur le modèle de Bednarz & Janvier, 1996,)



Ces deux problèmes peuvent être résolus de plusieurs manières.

Résolution du problème des pantalons

Méthode arithmétique

$150 - 85 = 65$	Calcul du prix d'un pantalon
$11 * 150 = 1650$	Calcul du prix des 11 blousons
$2495 - 1650 = 845$	Calcul du prix pour le reste des affaires
$845/65 = 13$	Calcul du nombre de pantalons

Méthode algébrique

$$(150 - 85)x + 11(150) = 2495$$
$$65x + 1650 = 2495$$
$$65x = 845$$
$$x = 13$$

Résolution du problème des trains

Méthode arithmétique

$$16 * 8 = 128$$
$$576 - 128 = 448$$
$$448/28 = 16$$

- ⇨ 16 wagon de 12 places
- ⇨ 24 de 16 places

Calcul du nombre de voyageur dans les wagons supplémentaire
Calcul du nombre de places nécessaires hors ces 8 wagon
Calcul du nombre de « paire nécessaire » 1 wagon de 16 place et un de 12 à chaque fois)

Méthode algébrique

$$\begin{cases} 12x + 16y = 576 \\ x + 8 = y \end{cases}$$
$$12x + 16(x + 8) = 576$$
$$12x + 16x + 128 = 576$$
$$28\,x + 128 = 576$$
$$28x = 448$$
$$x = 16$$

- ⇨ 16 de 12 places
- ⇨ 24 de 16 places

Méthode par itération

Nbr de wagon	Nbr de wagon	Total
1 de 12	9 de 16	$16 * 9 + 12 = 156$
2 de 12	10 de 16	$16 * 10 + 2 * 12 = 184$
3 de 12	11 de 16	$16 * 11 + 3 * 12 = 212$
4 de 12	12 de 16	$16 * 12 + 4 * 12 = 240$

Nous avons évalué non seulement la réussite de ces deux problèmes, mais également la méthode utilisée, selon quatre modalités : la méthode arithmétique, la méthode algébrique, la méthode alternative par itérations, et aucune méthode.

Présentation des résultats

Pour commencer, nous avons fait quelques tests sur les liens entre les attitudes générales envers les mathématiques. Ceci nous permet de comparer les corrélations retrouvées dans notre questionnaire à celle retrouvées par la validation du questionnaire de Genoud et Guillod (2014) (voir tableau 7).

Tableau 7

Corrélation entre les attitudes générales et comparaison avec celles de la validation du questionnaire en gris (Genoud & Guillod, 2014)

	1.	*2.*	*3.*	*4.*	*5.*	*6.*	*7.*	*8.*
1. Utilité		.41**	.27**	.48**	-.12	.14	.22**	.03
2. Compétence	.54**		.23**	.69**	-.55**	.44**	-.04	-.13
3. Contrôlabilité	.39**	.29**		.31**	-.14	.22**	.30**	-.00
4. Affects positifs	.63**	.74**	.42**		-.39**	.35**	.25**	-.04
5. Affects négatifs	-.31**	-.64**	-.36**	-.57**		-.73**	.04	.09
6. Régulation affective	.25**	.55**	.28**	.50**	-.77**		.16*	-.18*
7. Investissement	.08	-.11	.30**	.10	.07	.09		-.14
8. Masculinité	-.03	.05	-.10	.02	.13	-.09	-.16**	

Note. ** Les corrélations sont significatives avec un seuil de 1%,
* Les corrélations sont significatives avec un seuil de 5%

Les corrélations sont pour la plupart proche. Dans le cas de la validation du questionnaires la plupart des dimensions corrélaient avec les autres à l'exception de l'investissement et de la masculinité. Dans notre cas, l'investissement a quelques liens avec les autres dimensions et les affects négatifs sont moins corrélés avec le reste.

De plus, nous voulons tester les liens entre les attitudes « état » d'un même problème. Pour le problème des pantalons, les corrélations sont significatives pour la majorité des variables cependant les liens sont modérés (voir tableau 8).

Tableau 8

Corrélation entre les attitudes état du problème des pantalons

	1.	*2.*	*3.*	*4.*	*5.*
1. Utilité pantalon					
2. Compétence pantalon	.15*				
3. Affects positifs pantalon	.32**	.42**			
4. Affects négatifs pantalon	.07	-.14	-.05		
5. Investissement pantalon	.33**	.30*	.33**	-.10	

Note. ** Les corrélations sont significatives avec un seuil de 1%,
* Les corrélations sont significatives avec un seuil de 5%

Pour le problème des trains, les corrélations sont pour la plupart significatives même si leur lien est faible ou modéré. Mais il est important de noter que les affects négatifs est la seule dimension en lien avec aucune autre.

Tableau 9

Corrélation entre les attitudes état du problème des trains

	1.	*2.*	*3.*	*4.*	*5.*
1. Utilité train					
2. Compétence train	.22**				
3. Affects positifs train	.44**	.53*			
4. Affects négatifs train	.22**	-.19*	-.05		
5. Investissement train	.34**	.19	.37**	.00	

Note. ** Les corrélations sont significatives avec un seuil de 1%,
* Les corrélations sont significatives avec un seuil de 5%

Pour les deux problèmes, c'est l'utilité qui a le plus de corrélation, alors que les affects positifs sont aussi corrélés avec la majorité des attitudes. Ces corrélations ressemblent à celle du questionnaire général.

Nous avons observé l'évolution des différentes dimensions en fonction du problème (voir tableau 10) par un *t*-test apparié. Les différences se sont révélées significatives pour toutes les variables à l'exception de l'utilité perçue.

Tableau 10

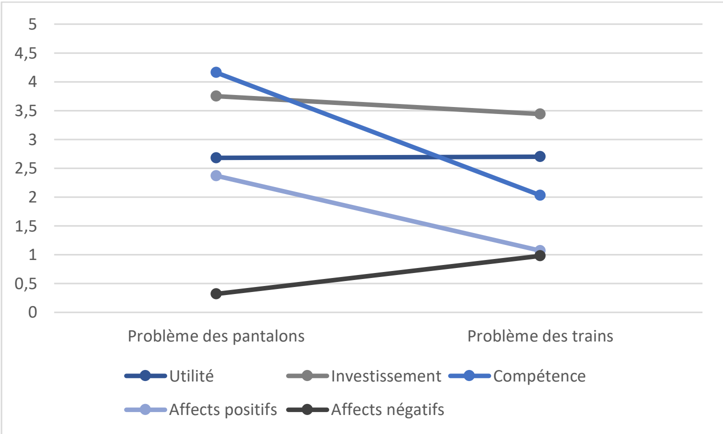
Résultat des t-tests appariés sur chaque attitudes « état »

	t	*Significativité*	*dl*
Utilité	0.12	ns	176
Compétence	17.02	P<1%	176
Affects positifs	8.23	P<1%	176
Affects négatifs	-8.03	P<1%	176
Investissement	3.17	P<1%	176

Les élèves ont un sentiment de compétence et des affects positifs plus bas pour le problème du train. De plus les affects négatifs sont plus élevés dans le problème des trains. Le graphique (voir figure 12) met en évidence ces trois dimensions qui sont très atteinte par le changement de problème.

Figure 12

Différence de moyenne à chaque dimension en fonction du problème des pantalons et du problème des trains



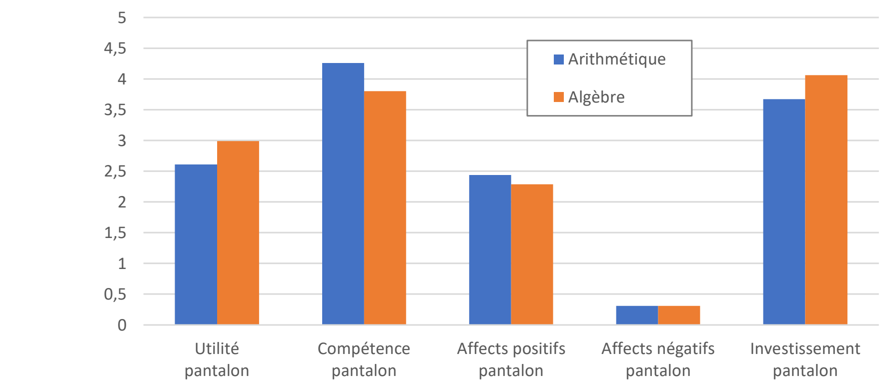
Trois méthodes ont été utilisées dans la résolution du problème des pantalons : la méthode arithmétique (N=145), la méthode algébrique (N=35) et un élève n'a pas donné de résolution. Le seul élève qui n'a donné aucune résolution n'est donc pas comptabilisé dans les tests sur la méthode car il ne peut pas représenter un échantillon d'individu.

Quatre méthodes ont été utilisées pour résoudre le problème des trains : la méthode arithmétique (N=45), la méthode algébrique (N=85), la méthode par itération (N=35) et aucune résolution (N=16). La majorité des élèves ont utilisé la méthode algébrique, mais on remarque que les méthodes sont bien plus variées pour ce problème que pour le problème des pantalons.

Nous avons regardé les différences entre la méthode arithmétique et algébrique pour chacune des dimensions des attitudes. Les tests de Levene ont révélé une homogénéité des variables à l'exception de la dimension du sentiment de compétence et de l'investissement. Pour ces variables nous avons donc noté leur valeur ajustée. Il n'y a qu'une seule différence significative (voir Figure 21), qui s'observe sur le sentiment de compétence. Les élèves utilisant l'arithmétique évaluent leur sentiment de compétence plus haut que les élèves utilisant l'algèbre. Les deux effets sont faibles.

Figure 13

Différence de moyenne au score de chaque dimension du problème des pantalons en fonction de la méthode de résolution utilisée



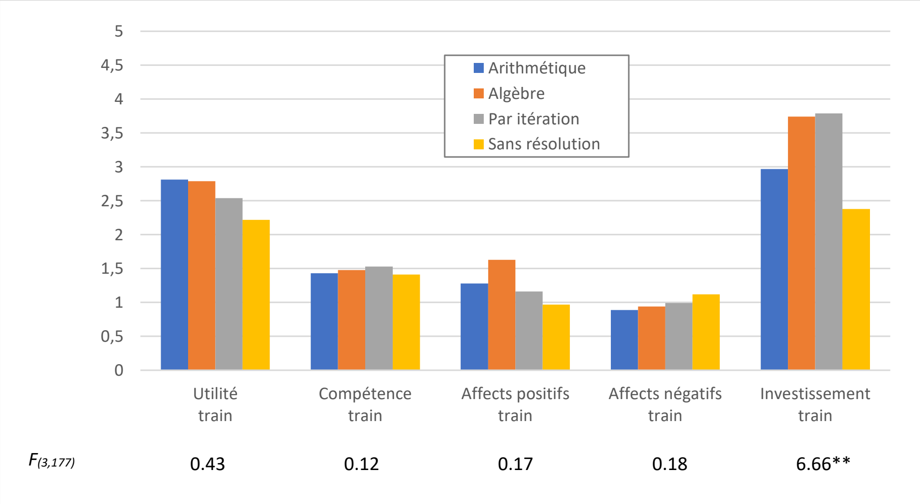
$t_{(178)}$	-1.51	2.09*	0.46	-0.06	-2.08*
Taille d'effet	-.29	.45	.09	-.01	-.30

Note. ** Les test sont significatifs avec un seuil de 1%,
* Les test sont significatifs avec un seuil de 5%

Pour le problème des trains, nous avons fait des ANOVAs unilatérales pour analyser les différences de moyennes. Une seule ANOVA est significative (voir Figure), elle concerne l'investissement. Les tests post-hoc indiquent que la différence se voit entre la méthode arithmétique et la méthode algébrique, entre la méthode algébrique et sans résolution, ainsi qu'entre la méthode par itération et sans résolution.

Figure 14

Différence de moyenne au score de chaque dimension du problème des pantalons en fonction de la méthode de résolution utilisée



Note. ** Les test sont significatifs avec un seuil de 1%,
* Les test sont significatifs avec un seuil de 5%

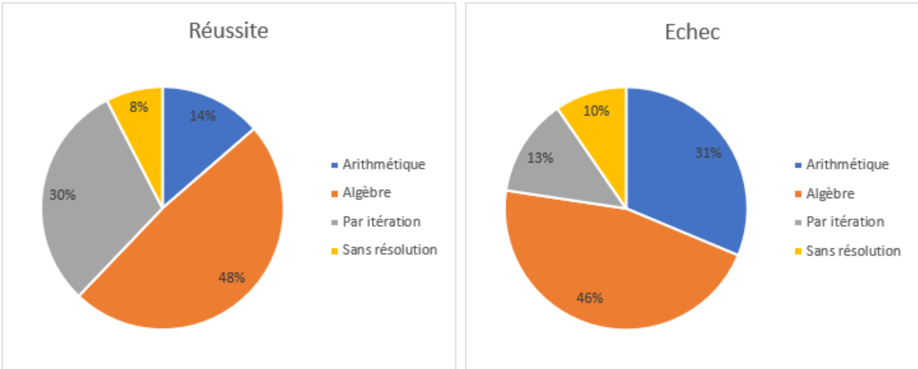
Pour les deux problèmes, la majorité des attitudes sont non-significative. Les attitudes ne changent pas en fonction de la méthode utilisée.

Nous avons analysé le lien entre la méthode de résolution de chaque problème et la réussite au susdit problème. Pour le problème des pantalons, le khi-carré s'est révélé significatif ($\chi^2_{(2)}$ =9.33 ; p<1%) avec un effet de petite taille (phi=.23). Alors qu'ils utilisent deux méthodes, les élèves qui ont utilisés la méthode arithmétique sont plus nombreux à avoir réussi le problème que ceux ayant utilisé la méthode algébrique.

Pour le problème du train, le khi carré entre la méthode de résolution et la réussite au problème des trains est significatif, lui aussi. ($\chi^2_{(3)}$=11.96 ; p<1%). D'après les effectifs la méthode par itération est la seule méthode ou plus de la moitié des élèves l'utilisant réussissent le problème. L'effet est de petite taille (phi=.26).

Figure 15

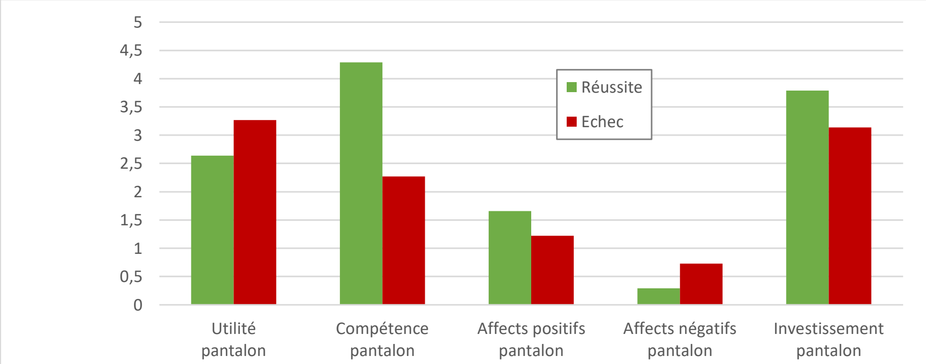
Répartition des élèves dans les méthodes utilisées au problème des trains en fonction de la réussite ou de l'échec



Pour analyser les attitudes, nous avons analysé les différences de moyennes des élèves ayant réussi le problème de ceux ayant échoué, pour chaque dimension des attitudes. Tout d'abord, l'homogénéité des variables est présente pour toutes les dimensions à l'exception des affects négatifs. Pour cette variable nous analysons donc les valeurs ajustées. Les *t*-test sont significatifs pour le sentiment de compétence. Les effets sont modérés à fort. Les élèves qui ont réussi le problème évaluent leur sentiment de compétence et leurs affects positifs plus élevés que les élèves qui ont échoué. A contrario les affects négatifs sont évalués plus haut pour les élèves ayant échoué.

Figure 16

Différence de moyenne au score de chaque dimension du problème des pantalons en fonction de la réussite ou de l'échec au problème



	Utilité pantalon	Compétence pantalon	Affects positifs pantalon	Affects négatifs pantalon	Investissement pantalon
$t_{(179)}$	-1.54	7.03**	1.91	-1.61	1.59
Taille de l'effet	-.48	2.17	.58	-.66	.50

Note. ** Les test sont significatifs avec un seuil de 1%,
* Les test sont significatifs avec un seuil de 5%

Afin de vérifier une interaction entre la réussite et la méthode de résolution nous avons pratiquer des ANOVAs univariées à deux facteurs. L'interaction entre la méthode de résolution et la réussite au problème des pantalons n'est jamais significatif.

Tableau 11

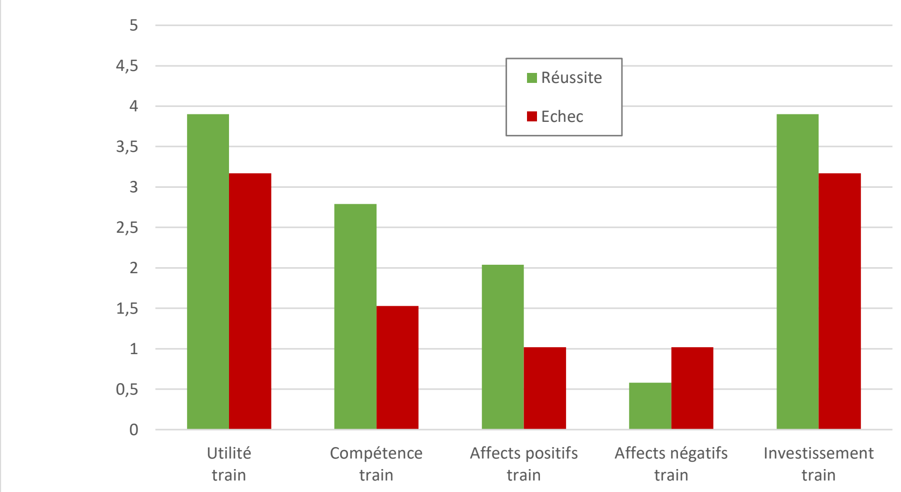
Différence de moyennes aux attitudes au problèmes des pantalons en fonction de l'interaction entre la réussite et la méthode utilisée

	Utilité pantalon	*Compétence pantalon*	*Affects positifs pantalon*	*Affects négatifs pantalon*	*Investissement pantalon*
$F_{(3,176)}$	0.25	0.07	0.04	0.51	0.16

Pour les dimensions au problème des trains, les variances sont inégales pour l'investissement, les affects positifs et négatifs. Nous avons donc utilisé leurs valeurs ajustées. Les tests sont significatifs pour l'entièreté des dimensions à l'exception de l'utilité perçue au problème des trains (voir figure 27). Contrairement au problème du pantalon nous voyons que les différences d'attitudes ici sont très marqué, avec des tailles d'effet modéré pour trois variables : les affects positifs et négatifs, ainsi que pour l'investissement. Mais la différence la plus notable se voit sur la variable du sentiment de compétence, celui-ci ayant une taille d'effet fort. Les élèves qui ont réussi ont des moyennes plus élevées pour toutes les dimensions positives : l'utilité, le sentiment de compétence, les affects positifs, et l'investissement.

Figure 17

Différence de moyenne au score de chaque dimension du problème des trains en fonction de la réussite ou de l'échec au problème



$t_{(178)}$	1.48	6.04**	4.59**	-3.73**	3.53**
Taille de l'effet	.23	.93	.76	-.54	.51

Note. ** Les test sont significatifs avec un seuil de 1%,
* Les test sont significatifs avec un seuil de 5%

Afin de vérifier une interaction entre la réussite et la méthode de résolution nous avons pratiquer des ANOVAs univariées à deux facteurs. L'interaction entre la méthode de résolution et la réussite au problème des trains n'est jamais significatif.

Tableau 12

Différence de moyennes aux attitudes au problèmes des trains en fonction de l'interaction entre la réussite et la méthode utilisée

	Utilité trains	*Compétence trains*	*Affects positifs trains*	*Affects négatifs trains*	*Investissement trains*
$F_{(3,176)}$	0.56	0.11	0.49	0.68	0.144

Ayant plusieurs dimensions réagissant à la réussite ou à l'échec des problèmes, une régression logistique a permis de prédire la réussite au problème par les attitudes durant la résolution. Aucunes attitudes ne corrélant fortement avec une autre nous les avons toutes intégrées dans la régression.

	Coefficient	*Significativité*
Utilité Pantalon	-.61	< 5%
Sentiment de compétence pantalon	1.42	< 1%

Deux variables prédisent la réussite au problème des pantalons, le test de Hosmer et Lemeshow indique que dès le premier pas que les valeurs prédites et observée deviennent coéherentes ($\chi^2_{(2)}$=3.69 ; ns). Le sentiment de compétence se retrouvait dans les ANOVAs fait, sa place dans la prédiction n'est pas surprenante. Mais aucun des affects eu ne semble prédire la réussite au problème.

Pour prédire la réussite au problème des trains grâce aux attitudes et à la méthode de résolution, nous avons fait une régression logistique. La régression s'est faite sur trois pas, tous les pas étant significatif à 1%, le test de Hosmer et Lemeshow indique que c'est au troisième pas que les valeurs prédites et observées deviennent cohérentes ($\chi^2_{(2)}$=5.97 ; ns). Les attitudes servant à la régression sont l'investissement, les affects négatifs et le sentiment de compétence. Les coefficients nous indiquent que le sentiment de compétence est la variable qui influence le plus la régression, mais aussi que les affects négatifs sont corrélés négativement avec la régression (voir tableau 14). On retrouve des variables qui apparaissent dans les ANOVAs mais la régression exclue 2 des cinq variables.

Tableau 13

Coefficients des variables de la régression logistique permettant de prédire la réussite au problème des trains

	Coefficient	*Significativité*
Investissement Train	0,45	< 1%
Affects Négatifs Train	-0,42	< 5%
Sentiment de compétence Train	0.68	< 1%

Au hasard 63% des élèves sont classés juste, grâce au modèle au quatrième pas nous atteignons le 79%. En regardant les résidus seulement 4 observations ont des résidus en dessus de 2 et dans ces observations seulement deux sont en dessus de 3, ce qui représente environ 1% de l'échantillon. Ces cas extrêmes sont donc négligeables.

Pour analyser plus en profondeur la relation entre la méthode et la réussite de l'élève et l'impact des affects négatifs sur cette relation, nous avons créé deux groupes. La médiane des affects négatifs pour le problème des pantalons est 0, respectivement de 0.5 pour le problème des trains. Ainsi nous avons analysé la relation entre la méthode utilisée pour le problème et la réussite au problème dans les différents groupes.

Tableau 14

Khi-carrée entre

		t	*Significativité*	*dl*
Problème des pantalons	Bas affects négatifs	12.23	*p*<1%	1
	Haut affects négatifs	0.45	ns	2
Problèmes des trains	Bas affects négatifs	8.89	*p*<5%	4
	Haut affects négatifs	6.51	ns	4

On peut voir que dans le cas des affects négatifs élevés le lien entre la méthode utilisé et la réussit n'est plus significatifs. Cela indique que sous une haute anxiété il n'existe plus de différence d'effectif attendu. Dans les affects bas, il y a un effet de la méthode sur la réussite, mais dans les deux cas l'effet est faible.

		Bas affect		Haut affect	
	Effectif	Réussite	Echec	Réussite	Echec
Arithmétique	Observé	123	2	17	3
	Attendu	119.4	5.6	16.7	3.3
Algébrique	Observé	26	5	3	1
	Attendu	29.6	1.4	3.3	0.7

		Bas affect		Haut affect	
	Effectif	Réussite	Echec	Réussite	Echec
Arithmétique	Observé	6	19	3	17
	Attendu	12.3	12.7	4.1	15.9
Algébrique	Observé	26	21	6	32
	Attendu	23	24	7.8	30.2
Itération	Observé	14	8	6	7

	Attendu	10.8	11.2	2.7	10.3
Sans résolution	Observé	4	4	1	6
	Attendu	3.9	4.1	1.4	5.6

Discussion des résultats

Les hypothèses traitées durant ce document tournent autour de trois thèmes : la réussite, la méthode et le type de problème.

6.1 L'impact des attitudes sur les performances

La première chose à relever ici est une différence de performance entre les deux problèmes. Il y a 170 élèves qui ont réussi le problème du pantalon, représentant 94% des élèves. Pour le problème du train, 66 élèves l'ont réussi, ceci représentant 36% de la totalité des élèves. Il était attendu que plus d'élèves réussissent le problème des pantalons. Mais d'après le programme scolaire, les élèves sont sensés maitriser ses deux types de problèmes, ainsi aussi peu de réussite dans le problème du train restent surprenant.

La première hypothèse est que les affects négatifs associé au problème seront plus élevés quand la réponse au problème donné n'est pas la bonne. La moyenne des affects négatifs des élèves ayant réussi est de 0.58 alors qu'elle est de 1.16 pour les élèves ayant échoué. Les résultats du *t*-test montrent que pour le problème du pantalon cette différence de moyenne n'est pas significative. Les élèves qui ont réussi le problème ont une moyenne d'affects négatifs plus basse mais elles ne diffèrent pas assez de la moyenne des autres élèves. En effectuant ce test sur le problème des trains, la différence de moyenne se révèle significative. Les 115 élèves échouant au problème ont en moyenne des affects négatifs plus élevés, confirmant notre hypothèse dans le cadre de ce problème.

On peut commencer par relever que les scores de ces affects sont extrêmement bas. En effet la valeur maximum atteinte est de 5, cependant la moyenne globale est de 0.31 pour le problème du pantalon, et de 0.94 pour le problème du train. La distribution des affects négatifs ne suit pas une distribution normale, la majorité des élèves ayant évalué les affects négatifs à 0 pour les deux problèmes. Elle est asymétrique et leptokurtique. Cuisiner (2018) avait déjà remarqué que les scores des affects négatifs sont plus bas que les autres échelles d'attitude. Les élèves autoévaluent leur ressenti d'affects négatifs généralement bas même quand ils en ont ressenti.

Nous avons deux problèmes différents, qui ont des liens différents avec l'hypothèse. D'après Op't Eynde et al. (2006) les affects négatifs apparaissent quand les élèves font face à une difficulté dans l'exercice, c'est une interprétation qui expliquerait le lien avec la performance. Tornare et al. (2015) théorisent que la difficulté d'un exercice favorise certaines émotions. En effet, d'après eux, plus l'élève perçoit l'exercice comme difficile le plus il ressentira des émotions négatives, comme la tristesse ou le désespoir. Pour le cas du problème du pantalon, l’hypothèse étant rejetée cela indiquerait que les élèves qui ont échoué n’ont pas fait face à des difficultés. Cette interprétation est soutenue par le fait que les affects négatifs sont nettement plus élevés au problème du train qu’au problème des pantalons. Étant donné que 94% des élèves ont réussi le problème des pantalons, il se pourrait que pour les 11 élèves qui ont échoué cela soit dû à de l’inattention voire un manque d’investissement. Cela dépendant donc d’une erreur de calcul et non d’une difficulté perçue par l’élève.

Le problème des trains peut être considéré par sa nature algébrique plus complexe, ainsi il n’est pas surprenant que plus d’élève aient rencontré des difficultés à le résoudre et qu’ainsi plus de la moitié des élèves l’ont échoué. Une interprétation possible de la confirmation de l’hypothèse est que les élèves qui ont échoué aient rencontré des difficultés durant la résolution provoquant des affects négatifs plus conséquents. Si cette interprétation est juste, que les affects négatifs proviennent de la difficulté perçue des élèves le lien entre les affects négatifs et l’échec n’est plus aussi direct. Une des interprétations de cette effets des affects négatifs est qu’ils provoquent un regain d’énergie et donc d’investissement (Pekrun et al., 2017). Cependant même si l’investissement est effectivement plus élevé quand les élèves réussissent le problème, il ne semble pas que cela viennent des affects négatifs car il n' y aucun corrélation entre ses deux variables.

En plus des affects négatifs, nous avons posé l’hypothèse que les élèves ayant réussi le problème ont des affects positifs plus élevé durant la résolution, que ceux ayant échoué. Nous avons déjà pu voir que les élèves ayant échoué au problème du train ont ressenti plus d’affects négatifs durant sa résolution. Dans notre étude, l’hypothèse sur les affects positifs est confirmée pour les deux problèmes : les élèves qui ont réussi leur problème ont vécu des affects positifs plus élevés que les élèves ayant échoué.

Tulis et Ainley (2011) ont remarqué qu’après une réussite la majorité des élèves avaient un comportement peu émotionnel et quelques élèves avaient une réaction positive. Ce manque de réaction émotionnelle étant lié aux attentes de réussite des élèves. Mais nous savons de Tornare et al. (2015) que les affects positifs sont même en pré-test plutôt élevé, même si après le problème ceux-ci baissent. Dans notre étude les affects positifs ont des scores plutôt élevés avec une moyenne de 2.41 pour le problème du pantalon et 1.40 pour celui du train.

Cuisinier (2018) a fait une étude longitudinale sur les émotions et la performance en mathématiques. Cette étude a permis de voir que la performance et les émotions contribuent l’une à l’autre, même si leurs liens sont faibles. On peut donc se demander si dans notre cas une réussite au premier problème pouvait amener à des affects positifs plus élevé ensuite.

Même si Cuisinier (2018) a étudié des attitudes générales et généralisées, dans notre étude, pour éviter des effets d'amorçage, nous avons alterné l'ordre des problèmes.

Comme Op't Eynde et al. (2006) l'ont remarqué les émotions arrive à une difficulté. Dans le cas de Frank, leur sujet d'étude, ils ont pu voir que les émotions négatives apparaissaient au début quand il faisait face à une difficulté puis des émotions positives comme la joie et la fierté apparaissaient à la fin de la tâche. A la lumière de ces travaux nous pouvons donc supposer un comportement analogue à celui de Frank – l'apparition d'affects positifs en cas de réussite du problème par l'élève. Dans notre étude les élèves ayant réussi au problème du train évaluent avoir ressenti plus d'affects positifs que ceux ayant échoué. L'interprétation découlant de l'étude de Op't Eynde et al. (2006) indiquerait que les affects positifs seraient ressentis après que l'élève ait l'impression de succès dans le problème.

Cependant, l'hypothèse n'est pas confirmée pour le problème du pantalon, les élèves ayant réussi le problème n'ont pas plus d'affects positifs que les élèves échouant. Comme nous l'avons vu il est possible que les quelques élèves qui ont échoué à ce problème l'aient fait sans avoir ressenti de difficulté, et ainsi sans se rendre compte de leur échec. Il se peut que la différence ne soit pas visible dans les affects car les élèves ont pensé avoir réussi et donc on ressentit les affects positifs associée à la réussite du problème, sans pour autant le réussir. Ainsi les affects positifs peuvent déprendre de l'impression de réussite du problème et pas de la réussite en elle-même, mais elle peut aussi déprendre de l'absence de difficulté rencontré durant la résolution.

En comparant les résultats des affects positifs entre les deux problèmes, nous avons trouvé que ceux du problème du pantalon sont bien plus élevé que ceux du problème du train. Si les affects positifs peuvent être considéré comme une preuve de facilité à l'exercices, ces résultats confirment cela. Autant pour les affects positifs et les affects négatifs ainsi que par la comparaison entre les deux problèmes il semble que le problème de train était associé à plus de difficulté, ainsi à des affects positifs plus bas et des affects négatifs plus élevés.

L'idée selon laquelle les affects positifs sont liés à la sensation de succès est soutenue par Bieg et al. (2014) et Tornare et al. (2015). D'après eux, les émotions liées à une tache peuvent être dépendant du sentiment de compétence de l'élèves et aux attentes de réussites. Même si leur résultat n'était pas ceux escompté, la théorie selon laquelle les affects positifs et le sentiment de compétence sont liés est partagée. Dans notre étude, il existe effectivement une corrélation entre les affects positifs et le sentiment de compétence. Plus l'élèves se sent compétent à la résolution du problème plus il évalue avoir ressenti des affects positifs élevés.

Afin d'analyser plus en avant la place du sentiment de compétence nous allons traiter de notre hypothèse suivante. Nous avons donc posé l'hypothèse que les élèves ayant réussi les problèmes avaient un sentiment de compétence plus élevé face au problème. Les résultats se sont avérés significatifs pour les deux problèmes, confirmant cette hypothèse.

Cuisinier (2018), dans son étude, a réalisé une prédiction de l'investissement et a noté que le sentiment de compétence et les affects se modèrent l'un l'autre dans cette prédiction, rendant la causalité complexe. D'après ses résultats, un élève avec un fort sentiment de compétence se découragerait moins facilement dans une étape difficile de la résolution du problème car il considère pouvoir y arriver, quand un élève se sentent incompétent s'arrêtera à la première difficulté. Ainsi cette persévérance favorisée par le sentiment de compétence peut être ce qui permet à l'élève de réussir le problème. Larouche et al. (2008) notent aussi que le sentiment de compétence exercerait une grande influence sur l'engagement d'une personne dans une tache. Il serait donc attendue que le sentiment de compétence et l'investissement soit corrélé.

Dans le cas du problème du pantalon il existe un lien entre l'investissement et le sentiment de compétence, qui permettrait de confirmer cette théorie. Cependant ce n'est pas le cas au problème du train : les élèves ayant un fort sentiment de compétence ne s'engageant pas nécessairement dans la résolution du problème. Ainsi dans le problème algébrique le sentiment de compétence ne suffit pas à l'élève pour s'investir, cependant nous avons vu que les affects positifs aident à l'investissement de l'élèves. Il est possible que les deux facteurs soient nécessaires pour que l'élève s'investisse assez pour la réussite du problème.

Cependant quand nous comparons les résultats aux deux problèmes nous remarquons qu'il y a une baisse de sentiment de compétence pour le problème du train. En effet les élèves évaluent en moyenne leur sentiment de compétence à 4,17 au problème du pantalon, alors que la moyenne de celui du train est seulement de 2. De plus l'investissement suit la même décroissance : avec une moyenne de 3.74 au problème du pantalon et de 3.4 au problème du train. Ainsi dans le cas du problème du train les élèves se sentent beaucoup moins compétent, il semblerait possible que ce manque de confiance générale en leur capacité durant ce problème ne permette pas même au plus confiant de s'investir.

Une régression permet de voir quelle variable prédit le mieux la réussite de l'élève, afin de permettre une analyse plus précise de ces variables sur la performance de l'élève. Nous savons que ces dimensions interagissent entre elle, mais aucune corrélation n'est forte. Aux vues des hypothèse déjà traité il serait attendue que le sentiment de compétence et les affects soient les facteurs prédisant la réussite. Pour les deux régressions, le sentiment de compétence ressenti durant l'exercice est la variable prédisant le plus la réussite au problème, comme attendu. Ceci confirme les résultats de Ebiner (2014) qu'il a observé dans un contexte mathématique. Cela indique aussi que dans les deux formes de problème c'est la croyance d'une réussite possible qui prédit le plus cette réussite, faisant écho aux remarques d'Hoffmann et Schraw (2009) dans sa propre étude. Hofmann s'est intéressé au sentiment de compétence et à la mémoire de travail sur les performances des élèves dans la résolution de problème. Il a analysé les résultats des élèves sur des problème de plus en plus complexe. D'après son étude, plus l'exercice est complexe plus le sentiment de compétence prédit fortement la réussite à l'exercice proposé. D'après Hoffmann et Schraw (2009), les élèves ayant un sentiment de compétence élevé ont plus de ressources pour faire face aux difficultés et serait plus à même de changer de stratégie afin de trouver celle qui lui permettra de réussir l'exercice.

De plus, le sentiment de compétence est partiellement dépendant des expériences passées de l'élève : celui qui obtient de bonnes notes et réussit des exercices améliore son sentiment de compétence face aux exercices futurs et favorise sa réussite, entrainant un cercle vertueux pour l'élève. En observant différemment le sentiment de compétence, on pourrait aussi le définir comme la capacité de l'élève de s'auto-évaluer face aux difficultés d'un problème. Cela expliquerait la prédiction directe et forte entre la réussite et le niveau du sentiment de compétence.

Pour le problème du train, nous voyons apparaitre dans la régression certaines autres dimensions déjà étudiées, l'investissement et les affects négatifs. Pour ce problème l'investissement prédit positivement la performance alors que les affects négatifs prédisent négativement la performance.

Commenté [M4]: Et donc ? dans quel sens ? et le pantalon ?

6.2 La méthode

Grâce à plusieurs liens remarqués entre les affects et le comportement de l'élève, ainsi que l'impact des émotions sur la mémoire de travail et sa relation avec la réussite au problème, nous avons pu poser l'hypothèse que les affects négatifs sont modérateurs de la relation entre la méthode et la réussite au problème.

En corriger les résolutions des élèves nous avons pu observer que trois méthodes ont été effectuées. Pour le problème du pantalon, la méthode algébrique et la méthode arithmétiques sont les seuls utilisés, avec plus de 80% des élèves qui ont utilisé l'arithmétique. Pour le problème du train la majorité des élèves (n=85) ont utilisé la méthode algébrique, ensuite 45 ont utilisé la méthode arithmétique et 35 une méthode par itération. 15 élèves n'ont donné aucune résolution.

Tout d’abord, pour les deux problèmes il existe effectivement un lien entre la méthode utilisée et la réussite au problème. Dans le cas du problème des pantalons, la méthode avec le plus de réussite est la méthode arithmétique. Etant donné que le problème a une construction connectée, et donc arithmétique, ce résultat était attendu. Cette méthode est la plus directe pour résoudre et réussir ce problème et les résultats le confirment.

Dans le cas du problème du train, il y a 32 élèves qui ont réussi par la méthode algébrique et 20 grâce à la méthode par itération. Cependant, il y a bien plus d’élève ont échoué en utilisant la méthode arithmétique que ce qui serait attendu comme effectif. Cette dernière méthode qui a été montrée comme adaptée et performante dans le cas du problème des pantalons, n’est cependant pas la méthode attendue pour résoudre celui des trains, expliquant le taux d’échec anormal obtenue. Les limites de l’utilisation de la méthode arithmétique, que nous avons présenté, sont donc atteintes avec ce problème des trains.

Pour autant les résultats sont surprenants pour la méthode par itération il y a plus d'élèves qui ont réussi le problème grâce à la méthode par itération que ce qui pourrait être attendu théoriquement. Cette méthode est considérée comme longue et fastidieuse (Squalli et al., 2020) mais elle est la plus optimale pour la résolution de ce problème. En effet de toutes les méthodes elle est celle avec le plus au ratio de réussite par nombre d’élève l’utilisant, avec plus de la moitié des élèves qui ont utilisé cette méthode ont trouvé la bonne réponse.

Commenté [JP5]: , on pourrait lier ça à une mémoire de travail faible sur ton groupe, par exemple ? Ou des difficultés avec l’algèbre en générale ? Ou alors parce que la méthode algébrique est plus complexe ? Parce que la méthode par itération est une recherche par l’erreur, donc “tangible” et pas l’autre

La construction du problème indiquait que la méthode a utilisé est la méthode algébrique. Les élèves ont effectivement utilisé cette méthode, mais l’utilisation de celle-ci n’est que peu concluante. Les résultats observés et obtenues du khi-carré sont proches, ainsi elle ne semble ni être favorable ni handicapante.

Si nous séparons les élèves en fonction de leur taux d’affects négatifs et testons à nouveau ce lien, les résultats obtenus diffèrent. En cas de haut taux d’affects négatifs, le lien entre méthode et réussite n’est pas significatif. Ainsi l’impact positif de certaines méthodes, amenant à la réussite, sont atténués dans le cas des affects négatifs plus élevés. À l’inverse, le test réalisé sur les élèves ne souffrant que d’un faible taux d’affects négatifs présente des résultats similaires à notre test sans séparation par les affects. Ceux-ci n’ont donc pas d’effet sur la relation entre la méthode utilisée et la réussite au problème.

Commenté [JP6]: (Ce qui veut dire qu’en cas de stress, tu risques de faire plus de merde, quelque soit la méthode utilisé, non ? Aussi, les sentiments négatifs, comme la sensation d’échec, alimente la proba d’échec, et crée une boucle vicieuse ? Les sentiments négatifs troublent la résolution ?).

Une observation de Beilock et Decaro (2007) est que sous cette pression, les algorithmes complexes sont moins performants que les algorithmes simples, et ce, en dépit de l’algorithme théoriquement optimal pour la résolution, excluant le stress. Le problème du train nous montre une efficacité discutée de la méthode du train. Dans un contexte de faible affects négatifs, la méthode est plutôt performante, mais elle ne l’est plus quand les affects négatifs sont élevés.

Beilock et Decaro (2007) interprète l'échec de la méthode complexe comme un manque de ressource. D'après eux, les élèves ayant une haute mémoire de travail qui généralement performent grâce à la méthode complexe, donc ici algébrique, sont touché par la situation de pression, leur enlevant les ressources nécessaires pour performer grâce à la méthode complexe. Dans notre étude, il est aussi possible que les affects négatifs aient agit comme une situation sous pression, prenant des ressources nécessaires aux élèves pour réussir l'exercice grâce à la méthode algébrique.

De plus, la méthode algébrique n'est performante dans aucune situation du problème du pantalon. Mais étant donné la nature du problème, ce résultat n'est pas surprenant. Une méthode plus simple, comme la méthode arithmétique est idéale théoriquement pour la résolution de ce problème.

Une piste de réflexion est amenée par Beilock et Decaro (2007), qui ont observé que la pression exerçait un rôle néfaste dans l'utilisation d'une méthode simple pour la résolution d'un problème complexe, mais pas dans le cas d'un problème simple.
Dans nos données, l'utilisation de la méthode arithmétique au problème du train est effectivement favorable à sa résolution, à condition que l'élève ne souffre que d'un faible taux d'affects négatifs. Ainsi les effets négatifs péjorent l'utilisation de la méthode arithmétique dans le cas du problème du train. Mais nous avons vu que la méthode arithmétique est favorable à une réussite dans le problème du pantalon.

Nous avons une méthode intermédiaire qui est la méthode par itération. Elle est la plus performante au problème des trains. Cependant cette performance disparait lorsque le taux d'affects négatifs est élevé, alors qu'elle se révèle efficace dans des conditions d'affects moindres.

Les affects négatifs elevé ont donc un impact négatif sur l'utilisation de la méthode algébrique et la méthode par itération. D'après Pekrun (1992) et Tardif (1999), les situations de stress ont un impact négatif sur plusieurs processus nécessaires à la résolution de problèmes, comme les connaissances apprises ou le stockage en mémoire. Cela peut effectivement être plus impactant dans le cas de la méthode algébrique qui par sa nature récente à des bases moins ancrés chez les élèves. Cependant la méthode par itération ne demande pas de connaissance pré-requise : ici, pas besoin de connaissances mathématiques, mais bien une capacité de listage et de logique, plus simples à mettre en œuvre, dans une situation de stress ou non. De plus on pourrait penser que le fait que les élèves aient accès à une feuille pour noter leur étape, soulageraient le travail de la mémoire. Cependant Ashcraft et Krause (2007) a démontré que même dans des additions sur papier, plus il y avait de nombre et donc d'étape plus l'anxiété impacte les résultats. Même si la possibilité d'écrire soulage la mémoire de travail cela ne permet pas de libérer totalement l'élève de l'impact de l'anxiété sur celle-ci. Cela pourrait donc expliquer la différence de résultat pour la méthode d'itération.

Une chose qu'on peut remarquer est que les deux méthodes sont celles demandant le plus d'investissement. En effet, nous avons une différence d'investissement significative entre les méthodes et ce sont celles qui ont le plus haut score moyen d'investissement. Ainsi l'investissement nécessaire pour ses deux méthodes apparait peut-être justement dans les processus nécessaires où la charge cognitive présente. Les ressources utilisées par les affects négatifs empêchant les élèves de résoudre le problème par ces méthodes, expliquant ensuite leur échec.

Conclusion : lEtant donné le peu de situations ou la méthode algébrique est concluante, il est possible qu'elle soit nettement moins maitrisée par les élèves, impliquant des échecs bien plus fréquent.

Conclusion

Dans ce travail nous cherchions à étudier les attitudes des élèves envers un problème arithmétique et un problème algébrique, afin d'observer des différences entre les deux problèmes. Cela nous a permis d'étudier les performances des élèves ainsi que les méthodes utilisées pour résoudre les problèmes.

Nous avons pu confirmer que les élèves rencontrent davantage de difficulté à résoudre le problème algébrique que le problème arithmétique, moins de la moitié des élèves ont réussi à résoudre ce problème. De plus nous avons pu observer un investissement un sentiment de compétence et des affects positifs plus élevé au problème arithmétique, alors que les affects négatifs sont plus élevés au problème algébrique.

Plusieurs attitudes ont été analysé afin d'évaluer leur impact sur la performance de l'élève. Pour les deux problèmes, les élèves ayant réussi le problème ont un sentiment de compétence élevé. Mais dans le cas du problème du train d'autres attitudes étaient en lien avec une réussite. En effet, les élèves ayant réussi le problème du train ont rapporté avoir eu des affects positifs plus conséquent et des affects négatifs moindre. Mais de plus les élèves réussissant le problème du train ont mesuré leur investissement comme plus conséquent que ceux ayant échoué. La régression a permis de déterminer le sentiment de compétence comme le prédicteur de la réussite le plus important, pour les deux problèmes.

Les interprétations de ces résultats ont permis de placer la sensation de difficulté et de réussite au centre de ces attitudes, ceci expliquant la place prépondérante du sentiment de compétence. La difficulté ou la sensation de difficulté provoquent des affects négatifs influençant le comportement de l'élèves et les stratégies. Mais une sensation de réussite pouvant faire de même sur les affects positifs.

L'analyse des méthodes de résolutions a mis en évidence plusieurs éléments. Premièrement, la construction du premier problème détermine la méthode arithmétique comme la méthode optimale à sa résolution. Les résultats des élèves ont confirmé cela : la majorité des élèves ayant utilisé cette méthode et de manière concluante. Le deuxième problème détermine la méthode algébrique comme la méthode optimale, cependant dans ce cas même si les élèves ont majoritairement utilisé cette méthode elle n'était que peu concluante.

Ainsi les élèves ont majoritairement utilisé les méthodes découlant du type de problème qu'ils devaient résoudre mais cela sans réussir à performer grâce à elle. Cela indique notamment que la méthode algébrique n'est peut-être pas encore maitrisée par les élèves. En analysant les résolutions de ce problème, la modélisation du problème est apparue comme la plus grosse difficulté des élèves (voir annexe 3). Cette difficulté à l'application de la méthode algébrique remet en cause l'idée qu'elle est la méthode optimale. Elle ne l'est visiblement pas pour les élèves. Cependant les résolutions de problème sont utilisées pour la consolidation de la matière en mathématiques et notamment l'algèbre. La résolution de problème peut être un bon moyen de terminer un thème sur l'algèbre pour consolider les notions et reprendre les quelques points qui ne sont pas clairs pour les élèves.

Nous nous sommes inspirés de l'étude de Beilock et Decaro (2007), afin d'évaluer l'effet modérateur des affects négatifs sur le lien entre la méthode utilisée et la réussite au problème. Pour contrôler artificiellement les affects négatifs, nous avons créé deux groupes – un à affect négatif élevé et un à affect négatifs bas. Puis nous avons analysé le lien entre la méthode et la réussite dans ces deux groupes. Les résultats ont montré que dans le groupe à affect négatifs élevé les méthodes étaient bien moins performantes qu'en cas d'affects négatifs bas, mais que cela était surtout valable pour la méthode algébrique et la méthode par itération.

Ces deux méthodes sont celles qui demandent le plus d'investissement de l'élèves et nous supposons, comme Beilock et Decaro (2007) l'ont fait, que les affects négatifs diminuent les ressources des élèves, impactant donc celles nécessaire à l'utilisation de ces méthodes. N'ayant plus assez de ressources les élèves n'arrivent pas à performer grâce à ces méthodes. Alors que dans le cas d'une méthode plus simple ou mieux maitriser, comme la méthode arithmétique, les ressources nécessaires sont moindres et les affects négatifs sont donc moins impactant.

Les affects, autant positifs que négatifs, même s'ils ne se retrouvent comme prédicteur de la réussite, ont une place importante dans le processus d'apprentissage et de résolution. Nous avons pu voir qu'ils étaient en lien avec la réussite. Il semblerait donc important de prendre en considération la régulation affective dans les méthodes d'apprentissage.

Notre travail a voulu comparer deux problèmes de construction différente afin d'évaluer les différences. Mais cette décision est aussi une limite, en effet il est complexe de trouver deux problèmes de nature différente et de les considérer de difficulté équivalente. Les taux de réussite des problèmes nous indiquent que le problème arithmétique était plus facile, peut-être trop facile pour les élèves, quand celui algébrique était difficile.

Liste de références

Adihou, A. (2011). Enseignement-apprentissage des mathématiques et souffrance à l'école. *Les collectifs du Cirp*. *2*, 90-102

Adihou, A., Larguier, M., & Bronner, A. (2021) Chapitre 6 : Raisonnements lors de la résolution de problèmes déconnectés : exemples de prototypiques et analyse de productions d'élèves. In H. Squalli, I. Oliveira, A. Bronner & M. Larguier (Éds.), *Le développement de la pensée algébrique à l'école primaire et au début du secondaire. Recherches et perspectives curriculaires* (p. 133-161). Livres en ligne du CRIRES : https://lel.crires.ulaval.ca/oeuvre/le-developpement-de-la-pensee-algebrique-lecole-primaire-et-au-debut-du-secondaire-recherches

Aergerter, S. (2015). Attitude socio-affective en mathématiques et compétence d'autoévaluation en 11e HarmoS [Travail de master]. Université de Fribourg.

Aiken, L. R. (1970). Attitudes toward mathematics. *Review of Educational Research*, *40*(4), 551-596.

Alaluf, M., Imatouchan, N., Marage, P., Pahaut, S., Sanvura, R., Valkeneers, A., & Vanheerswynghels, A. (2003). *Les filles face aux études scientifiques. Réussite scolaire et inégalité d'orientation*. Editions de l'université de Bruxelle.

Alexandre, V. (1996). Les attitudes, définition et domaines. In J.-C. Deschamps & J.L. Beauvois (Éds.). *La psychologie sociale, tome II, Des attitudes aux attributions : sur la construction sociale de la réalité* (p.23-40). Presses Universitaires de Grenobles.

Alloway, T. P., Banner G. E., & Smith, P. (2010). Working memory and cognitive styles in adolescents' attainment. *British Journal os Educational Psychology, 80*, 567-581.

Anderman, E. M., & Midgley, C. (1997). Changes in achievement goal orientation, perceived academic competence, and grades across the transition to middle-level schools. *Contemporary Educational Psychology*, *22*, 269–298.

Anjariyah, D., Juniati, D., & Siswono, T. Y. E. (2022) How does working memory capacity affect students' mathematical problem solving? *European Journal of Educational Research, 11*(3), 1427-1439.

Aristoklis, N., & Philippou, G. (2018). Efficacy beliefs, problem posing, and mathematics achievement., 308-317.

Ashcraft, M. (2002). Math anxiety: personal, educational, and cognitive consequences. *American Psychological Society*, *11*(5), 181-185.

Aschcraft, M. H., & Krause, J. A. (2007). Working memory, math performance, and math anxiety. *Psychonomic Bulletin & Review*, *14*(2), 243-248.

Auduc, J-L. (2009). *Sauvons les garçons !* Descartes & Cie.

Ayotola, A., & Adedeji, T. (2009). The relationship between mathematics self-efficacy and achievement in mathematics. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, *1*, 953-957.

Ayres, P. L. (2001). Systematic mathematical errors and cognitive load. Contemporary *Educational Psychology*, *26*, 227-248.

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

Baddeley, A. (2010) Working memory. *Current Biology*. *20*(4), 136-140. https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.12.014

Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: a social cognitive theory*. Prentice-Hall.

Barbeau, D. (1991). Pour mieux comprendre la réussite et les échecs scolaires. *Pédagogie collégiale, 5*(1), 17-22.

Barbier, J.M. (2018). Affects, émotions, sentiments : quelles différences ?. p.23 = 2017 https://theconversation.com/amp/affects-emotions-sentiments-quelles-differences-92768

Bednarz, N., Radford, L., Janvier, B., & Lepage, A. (1992) Arithmetic and algebric thinking in problem solving. *Proceedings of the 16th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics* Education, *1*, 65–72.

Bednarz, N., & Janvier, B. (1996). Emergence and development of algebra as a problem-solving tool: Continuities and discontinuities with arithmetic. In N. Bednarz, C. Kieran et L. Lee (Éds.), *Approaches to Algebra. Perspectives for Research and Teaching* (pp. 115-136). Kluwer Academic Publishers.

Beilock, S., & Carr, T. (2005). When high-powered people fail: workin memory and “choking under pressure” in math. *Psychological Science, 16*(2), 101-105.

Beilock, S. L., & Decaro, M. S. (2007). From poor performance to success under stress: Working memory, strategy selection, and mathematical problem solving under pressure. *Journal of experimental psychology. Learning, memory and cognition, 33*(6), 983-998.

Belli, T. et Pech E. (2006). *Rapport au savoir en mathématiques*. [Mémoire professionnel, Institut Universitaire de Formation des Maîtres De l’académie d’Aix-Marseille] http://peysseri.perso.neuf.fr/PE2005/GFP05/MEMO2006/N.pdf

Bergeron, J. (2016) *L'importance du rendement, du soutien des adultes, des attentes de réussite et de la valeur accordée aux mathématiques dans les choix de filières de formation préuniversitaire des étudiantes issues des séquences de mathématiques enrichies.* [Thèse de doctorat, Université de Montréal]. Papyrus doc. https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/13981?locale-attribute=fr

Berger, J.L., & Büchel, F. (2012). Métacognition et croyances motivationnelles : un mariage de raison. *Revue française de pédagogie,179*, 95-128.

Bieg, M., Goetz, T., & Lipnevich, A. A. (2014). What students think they feel differ from what they really feel – academic self-concept moderates the discrepancy between students' trait and state emotional self-reports. PLoS ONE, 9(3), 1-9.

Blaney, P. H. (1986). Affect and memory: a review. *Psychological Bulletin, 99*(2), 229-246

Blouin, Y. (1985) La réussite en mathématiques au collégial : le talent n'explique pas tout. Rapport de recherche Quebec Cegepe Francois Xavier Garneau

Breakwell, G. M., & Robertson, T. (2001) The gender gap in science attitudes, parental and peer influences: changes between 1987-88 and 1997-1998. *Public Understanding of Science, 10*(1), 71-82.

Bouffard, T., & Vezeau, C. (2006). Chapitre 3. L'illusion d'incompétence chez l'élève du primaire : plus qu'un problème de biais d'évaluation. In B. Galand & E. Bourgeois (Éds.), *(Se) motiver à apprendre* (pp. 41-49). Presses Universitaires de France. https://doi.org/10.3917/puf.brgeo.20066.01.0041

Buchan, N. (1987). Factors contributing to mathematical problem-solving performance: an exploratory study. *Education Studies in Mathematics*, *18*, 399-415.

Catsambis, S. (1995). Gender, race, ethnicity, and science education in the middle grades. *Journal of Research in Science Teaching*, *32*, 243-257. https://doi.org/10.1002/tea.3660320305

Chouinard, R., Karsenti, T., & Roy, N. (2007) Relations among competence belief, utility value, achievement goals, and effort in mathematics. *British Journal of Education Psychologie*, *77*, 501-517. https://doi.org/10.1348/000709906X133589.

CDIIP (2010). *Mathématiques et Sciences de la nature (MSN).* https://www.plandetudes.ch/web/guest/mathematiques

Crahay, M. (2008). Chapitre 7. La difficulté d'articuler diverses procédures arithmétiques dans les problèmes complexes. In M. Crahay (Éd.), *Enseignement et apprentissage des* *mathématiques : Que disent les recherches psychopédagogiques* (pp. 177-199). De Boeck Supérieur. https://doi.org/10.3917/dbu.craha.2008.01.0177"

Cuisinier, F. (2018). Emotions et apprentissages scolaires : que nous apprend l'études des émotions édclarées ? Conférence ANAE ?

De Corte, E., & Verschaffel, L. (2008). Apprendre et enseigner les mathématiques : Un cadre conceptuel pour concevoir des environnements d'enseignement-apprentissage. In M. Crahay, L. Verschaffel, E. De Corte, & J. Grégoire (Éds.), *Enseignement et apprentissage des mathématiques : Que disent les recherches psychopédagogiques ?* (pp. 25-54). De Boeck Université.

Deforge, H., & Frenkel, S. (2014). Métacognition et réussite scolaire : perspectives théoriques. In C. Giraudeau, & G. Chasseigne (Éds.), *Psychologie, éducation et vie scolaire* (pp.87-113). Publibook Université.

Demonty, I. (2008). La transition entre l'arithmétique et l'algèbre élémentaire dans le contexte de la résolution de problèmes arithmétique. In M. Crahay, L. Verschaffel, E. De Corte, & J. Grégoire (Éds.), *Enseignement et apprentissage des mathématiques : Que disent les recherches psychopédagogiques ?* (pp. 225-244). De Boeck Université.

Devine, A., Fawcett, K., Szucs, D., & Dowker, A. (2012). Gender differences in mathematics anxiety and the relation to mathematics performance while controlling for test anxiety. *Behavioral and Brain Functions*, *8*(1), 33. https://doi:10.1186/1744-9081-8-33

Didierjean, G., Dupuis, C., Duval, R., Egret, M-A., Kremer, D., Robert, G., Wenner, B., & Ziegler, M. (1997). A propos de charades dont la solution est un système d'équation à deux inconnues. *Petit x*, *44*, 35-48.

Durussel, L., & Perret, B. (2012). Est-ce que l'anxiété des mathématiques influence la performance à une tache de calcul sollicitant la mémoire de travail ? [Mémoire professionnel]. Haute école pédagogique de Lausanne.

Ebiner, J. (2014). *De l'attitude pour expliquer la réussite en mathématiques selon le contexte* [Mémoire de Master]. Université de Fribourg.

Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2002). Motivational beliefs, values, and goals. *Annual Review of Psychology, 53*(1), 109 - 132. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135153

Eccles (Parsons), J. S., Adler, T. F., Futterman, R., Goff, S. B., Kaczala, C. M., Meece, J. L., et al. (1983). Expectancies, values, and academic behaviours. In J. T. Spence (Ed.), *Achievement and achievement motivation* (pp. 75–146). Freeman.

Elwood, J., & Carlisle, K. (2002). *Examining Gender : Gender and Achievement in the junior and leaving certificate examinations 2000/2001*. NCCA Research Report No.1

Evans, J. (2000). Adults' Mathematical thinking and emotions: a study of numerate practices. In P. Ernest (Ed.), Studies in Mathematics Education Series (p. 295-300). Taylor &Francis Group.

Fernandez-Cézar, R., Solano-Pinto, N., & Garrido, D. (2021). Can mathematics achievement be predicted? The role of cognitive-behavioral-emotional variables. *Mathematics, 9* (14), 1-13.

Fishbein, M., & Ajzen, I. (1975). Belief, attitude, intention and behavior. An introduction to theory and research. Reading, MA : Addison-Weasley

Frijda, N. H., Kuipers, P. & Schure, E. (1989). Relations among emotion, appraisal, and emotional action readiness. *Journal of Personality and Social Psychology, 57*(2), 212–228.

Forgasz, H., Leder G., & Kloosterman, P. (2004). New perspectives on the gender stereotyping of mathematics. *Mathematical Thinking and Learning, 6*(4), 389-420.

Gafor, K. A., & Kurukkan, A. (2015) Why high school students feel mathematics difficult? An exploration of affective beliefs. UGC Sponsored National Seminar on Pedagogy of Teacher Education- Trends and Challenges, (August), 1–6. Retrieved from http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED560266.pdf

Galand, B., & Vanlede M. (2004). Le sentiment d'efficacité personnelle dans l'apprentissage et la formation : quel rôle joue-t-il ? D'où vient-il ? Comment intervenir ? [Numéro spécial]. *Savoirs*, *5*. https://doi.org/10.3917/savo.hs01.0091

Galand, B., & Bourgeois, E. (2006). *(Se) motiver à apprendre*. Presses Universitaire de France.

Gaonac'h, D., & Fradet, A. Chapitre 3. La mémoire de travail : développement et implication dans les activités cognitives. In M. Kail & M. Fayol (Éds.), *Les sciences cognitives et l'école* (p. 91-104). Presses Universitaires de France.

Gendron, B. (2010). Filles, garçons : quel capital émotionnel pour quelles conséquences ? *Tréma*, (32), 39-47.

Genoud, P. A., & Guillod, M. (2014). Développement et validation d'un questionnaire évaluant les attitudes socio-affectives en maths. *Recherches en éducation, 20*, 140-156. DOI:10.4000/ree.8149

Genoud, P. A., Kappeler, G., & Guillod, M. (2015). Attitudes face aux mathématiques : filles et garçons égaux dans la façon d'aborder leurs apprentissages ? *Revue suisse des sciences de l'éducations, 37*(2), 301-319.

Goetz, T., Frenzel, A., Pekrun, R., & Hall, N. (2006). The domain specificity of academic emotional experiences. *The Journal of Exeprimental Education*, *75*(1), 5-29.

Goetz, T., Frenzel, A. C., & Pekrun, R. (2007). *Journal of Educational Psychology*, *4*, 715-733.

Goleman, D. (2001). An EI-Based Theory of Performance. In Cherniss, C. & Goleman, D. (Éds)*The Emotionnally Intelligent Workplace* (pp 27-44). Jossey-bass.

Gurtner, J.-L. (2018). *Apprentissage, mémoire et motivation. [Support PowerPoint]* Moodle de l'Université de Fribourg. https://moodle.unifr.ch/enrol/index.php?id=44099

Heider, F. (1958) The psychology of interpersonal relations. Taylor and Francis

Hoffman, B., & Schraw, G. (2009). The influence of self-efficacy and working memory capacity on problem-solving efficiency, *Learning and Individual Differences*, *12*, 91-100.

Jacobs, J., Lanza, S., Osgood, D., Eccles, J., & Wigfield, A. (2002). Changes in Children's Self-competence and values: Gender and domain differences across grades one through twelve. *Child development*, *73*(2), 509-527. https://doi.org/10.1111/1467-8624.00421

Jones, G., Howe, A., & Rua, M. (2000) Gender differences in students' experiences, interests and attitudes toward science and scientists. *Science Education*, *84*(2), 180-192.

Kane, M.J., & Engle, R.W. (2000). Working-memory capacity, proactive interference, and divided attention: Limits on long-term memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 26*(2), 336-358.

Keller, C. (2001). Effect of teachers' stereotyping on sudents' stereotyping of mathematics as a male domain. The Journal of Social Psychology, 14(2), 165-173.

Kim, C., Park, S. W., & Cozart, J. (2014). Affective and motivational factors of learning in online mathematics courses. *British Journal of Educational Technology*, *45*(1), 171-185.

Krohne, H.W. (2003) Individual differences in emotional reactions and coping. In : R.J. Davidson, K.R. Scherer & H.H. Holdsmith (Éds), *Handbook of affective sciences* (pp.698-725). Oxford University Press.

Lafortune, L., & Mongeau, P. (2002) *L'affectivité dans l'apprentissage*. Presses de l'Université du Quebec.

Larouche, M.N., Galand, B. & Bouffard, T. (2008). Illusion of incompetence and peer acceptance of elementary school children. *European Journal of Psychology of Education*,*1*, 25-39.

Lee Petersen, J., & Hyde, J. (2017). Trajectories of self-perceived math ability, utility value and interest across middle school as predictors of high school math performance. *Educational Psychology An international journal of Experimental Educational Psychology, 37*(4), 438-4566. https://doi.org/10.1080(01443410.2015.2076765

Legg, A., & Locker, L. (2009) Math performance and its relationship to math anxiety and metacognition. *North American Journal of Psychology*, *11*(3), 471-485.

Le Hebel, F., Montpied, P., & Fontanieu, V. (2014) Les attitudes des élèves de 15 ans en France à propos des sciences. *Recherches en didactique des sciences et des technologies, 10,* 183-212. DOI:10.4000/rdst.950

Ma, X. (2022). Reciprocal relationships between attitude toward mathematics and achievement in mathematics. *The Journal of Educational Research*, *90*(4), 221-229.

McGarty, C., Yzerbyt, V. Y. et Spears, R. (2002). Stereotypes as explanations : the formation of meaningful beliefs about social groups. Cambridge University Press.

Miller, G. A. (1956) The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, *62*(2), p.81-97.

Mullis, I., Martin, M., Fierros, E., Goldberg, A., & Stemler, S. (2000). *Gender differences in achievement. IEA's Third International Mathematics and Science Study (TIMSS).* International Study Center, Lynch Scool of Education.

Nimier, J. (1977) Mathématique et affectivité. *Educational Studies in Mathematics, 8*, 241-250.

OCDE. (2014). *Résultats du PISA 2012 : Savoirs et savoir-faire des élèves : Performance des élèves en mathématiques, en compréhension de l'écrit et en sciences (Volume I).* Editions OCDE. http://dx.doi.org/10.1787/9789264208827-fr

Oppenheim A. (1992). *Questionnaire Design, interviewing and attitude measurement New Edition*. British Library

Op't Eynde, P., & Hannula, M. (2006). The case study of Frank. *Educational Studies in Mathematics, 63*, 123-129.

Op't Eynde, P., De Corte, E., & Verschaffel, L. (2006). "Accepting Empotional Complexity": a socio-constructivist perspective on the role of emotions in the mathematics classroom. *Educational Studies in Mathematics, 63*(2), 193-207.

Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003) Attitudes towards science: A review of literature and its implications. *International Journal of Science Education*, *25*(9), 1049-1079.

Palengka, I., Juniati, D., & Abadi. (2021). Mathematical reasoning structure of junior high school students in solving problems based on their working memory capacity. Journal of Physics: Conference Series, 1747, 1-9.

Pasquier, A. (2021). Chapitre 2. Approches des émotions et des affects.In A. Pasquier (Ed), *Psychologie et psychopathologie des émotions* (p. 21-59). Dunod.

Plan d'étude romand. (2010). *Mathématiques et sciences de la nature.* https://www.plandetudes.ch/documents/10273/36537/PER_print_MSN_CG.pdf

Plan d'étude romand. (s.d). *Grille horaire cycle 1 et cycle 2*. Consulté le 12 août 2022 à l'adresse: https://www.fr.ch/formation-et-ecoles/scolarite-obligatoire/ecole-obligatoire-organisation-et-deroulement-cycle-2

Plutchik, R. (1980). *Emotion: a psychoevolutionary synthesis*. New York: Harper & Row.

Pekrun, R. (1992). The impact of emotions on learning and achievement: Towards a theory of cognitive/motivational mediators. *Applied Psychology, 41*(4), 359-376.

Pekrun, R., Elliot, A. J., & Maier, M. A. (2009). Achievement goals and achievement emotions: Testing a model of their joint relations with academic performance. *Journal of Educational*, *101*(1), 115-135. https://doi.org/10.1037/a0013383

Pekrun, R., Lichtenfeld, S., Marsh, H., Murayama, K., & Goetz, T. (2017). Achievement emotions and academic performance: longitudinal models of reciprocal effects. *Child Development*, *88*(5), 1653-1670.

Plutchik, R. (1980). *Emotion: a psychoevolutionary synthesis*. Harper & Row.

Proulx, J. (2003). *Passage de l'arithmétique à l'algèbre dans une perspective de résolution de problèmes : une approche possible et favorable*. Département de mathématique.

Règlement concernant les examens de maturité gymnasiale du 17 septembre 2001, État le 1er février 2022 (REMG), RSF 412.1.31.

Roseman, I. J., Wiest, C. & Swartz, T. S. (1994). Phenomenology, behaviors, and goals differentiate discrete emotions. *Journal of Personality and Social Psychology, 67*(2), 206–221.

Sarrazin, P., Tessier, D., & Trouilloud, D. (2006). Climat motivationnel instauré par l'enseignant et implication des élèves en classe : l'état des recherches. *Revue française de pédagogie*, *157*, 147-177. https://doi.org/10.4000/rfp.463

Schmidt, S. (1996). La résolution de problèmes, un lieu privilégié pour une articulation fructueuse entre arithmétique et algèbre. *Revue des sciences de l'éducation*, *22*(2), 277–294. https://doi.org/10.7202/031881ar

Schoendfeld, A. (1985). Making sense of « out loud » problem-solving protocols. *The journal of mathematical behavior*, *4*, 171-191.

Schoendfeld, A. (1992). Learning to think mathematically: problem solving, metacognition and sense making in mathematics. In D. Grouws (Ed.), *Handbook for Research on Mathematics Teaching and Learning*. (pp.334-370).

Seligman, M. (1975). Helplessness: On Depression, development and Death. W.H. Freeman.

SEnOF. (2014). *Grille horaire du CO*. https://www.fr.ch/formation-et-ecoles/scolarite-obligatoire/ecole-obligatoire-organisation-et-deroulement-cycle-3#:~:text=Grille%20horaire%20partie%20francophone,d'enseignement%20en%2011H.

Silver, E. A., Ghousseini, H., Gosen, D., Charalambous, C. & Strawhun, B.T.F. (2005). Moving from rhetoric to praxis: Issues faced by teachers in having students consider multiple solutions for problems in the mathematics classroom. *Journal for Mathematical Behavior*, *24*(3), 287-301. https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2005.09.009

St Clair-Thompson, H.L., & Gathercole, S.E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *The quarterly journal of experimental psychology, 59*(4), 745-759.

Squalli, H., Bronner, A., Larguier, M., et Adihou, A. (2020). Cadre d'analyse des raisonnements dans la résolution de problèmes algébriques de type partage inéquitable. *Nouveaux cahiers de la recherche en éducation*, *22*(1), 36-62.

Tambychik, T., Subahan Mohd Meerah, T. (2010). Students' difficulties in mathematics problem-solving: what do they say? *Procedia Social and Behavioral Sciences*, *8*, 142-151.

Tardif, J. (1999). *Le transfert des apprentissages*. Les Éditions Logiques.

Triandis, H.C. (1971). Attitude and attitude change. John Wiley & Sons.

Tornare, E., Czajkowski, N. O., & Pons, F. (2015). Children's emotions in math problem solving situations: Contributions of self-concept, metacognitive experiences, and performance. *Learning and Instruction*, *39*, 88-96.

Tulis, M., & Ainley, M. (2011). Interest, enjoyment, and pride after failure experiences? Predictors of students' state-emotions after success and failure during learning in mathematics. *Educational Psychology*, *31*(7), 779-807.

Commenté [JP7]: Ca

Tzohar-Rozen, M., & Kramarski, B. (2014). Metacognition, motivation, and emotions: contribution of self-regulated learning to solving mathematical problems. *Global Education Review, 1*(4), 76-95.

Venturini, P. (2004). Attitudes des élèves envers les sciences : le point des recherches. *Revue française de pédagogie*, *149*, 97-121.

Vlassis, J. (2008). The role of Mathematical symbols in the development of number conceptualization: The case of the minus sign. *Philosophical Psychology*, *21*(4), 555-570. https://doi.org/10.1080/09515080802285552

Weiner, B. (1985). An attributional theory of achievement motivation and emotion. Psychological *Review,* *92*(4), 548–573. https://doi.org/10.1037/0033-295X.92.4.548

Windsor, W. (2010). *Algebraic Thinking: a problem solving approach*. In L. Sparrow, B. Kissane, & C., Hurst Shaping the future of mathematics education: *Proceeding of the 33rd annual conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia. Mathematics* (pp. 665-672). MERGA Inc.

Wolf, M. (1984). *La bosse des maths est-elle une maladie mentale ?* La Découverte.

Zeidner, M. (2007) Test anxiety in educational contexts: Concept, findings, and future directions. In P.A. Schutz& R. Pekrun (Eds), *Emotion in education* (pp.165-184). Academic Press.

Annexes

Annexe 1 : Questionnaire attitudes générales envers les mathématiques

1. Je m'implique dans les activités et exercices durant le cours de maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
2. Les évaluations de maths sont un défi que j'ai du plaisir à relever.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
3. Je suis anxieux/se durant les cours de maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
4. Je maîtrise mon stress durant les évaluations de maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
5. Je m'efforce de faire au mieux dans mes devoirs de maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
6. Mon travail a une influence sur mes résultats en maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
7. Je suis toujours de bonne humeur lorsqu'il y a un cours de maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
8. Les garçons sont à la base plus doués pour les maths que les filles.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
9. Je réussis bien en maths sans y consacrer beaucoup de temps.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
10. L'apprentissage des maths est une perte de temps.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
11. Quand je résous un exercice de maths, j'arrive à éviter que d'autres pensées perturbent mon travail.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
12. Je suis doué·e en maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
13. Mes émotions me perturbent malgré moi durant les cours de maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
14. Beaucoup de pensées négatives m'envahissent durant les cours de maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
15. En maths, il est surprenant de voir une fille réussir mieux que la plupart des garçons.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord

16. Je ressens des symptômes (palpitations, sueurs ou maux de ventre) durant les évaluations de maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
17. Les maths permettent de développer d'autres compétences (p.ex. déduction, logique, précision).	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
18. J'essaye d'en faire le moins possible pour les maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
19. Étudier les maths me rend heureux/se.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
20. Le cerveau des garçons est plus adapté à l'apprentissage des maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
21. Les maths sont souvent trop complexes pour moi.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
22. Je fais des efforts pour réussir en maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
23. Je suis facilement tendu·e durant les cours de maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
24. Par rapport à mes camarades, mes résultats de maths sont bons.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
25. J'ai de la peine à faire le vide pour me concentrer sur un problème de maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
26. Mes résultats en maths sont directement en lien avec mon investissement dans cette branche.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
27. Je suis angoissé·e lorsque je fais mes devoirs de maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
28. J'ai du plaisir à résoudre des exercices durant les évaluations en maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
29. En cours de maths, je n'agis pas, je subis.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
30. Durant les évaluations de maths, mes émotions sont incontrôlables.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
31. J'aime les cours de maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
32. Je parviens à gérer mes émotions durant les cours de maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
33. Ma compréhension en maths dépend des efforts que je fournis.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord

34. Être bon·ne en math donne un avantage considérable pour trouver un emploi.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
35. Ma réussite en maths est surtout une question de chance.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
36. Quand je suis face à mes devoirs de maths, je ne sais pas comment m'y prendre.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
37. Une fille doit travailler plus qu'un garçon pour avoir les mêmes résultats en maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
38. Je me fais du souci durant les évaluations de maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
39. J'ai beaucoup de potentiel dans le domaine des maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
40. Je me réjouis de voir arriver l'heure de maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
41. Les maths me seront précieuses dans mon futur (formation et emploi).	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
42. Je consacre suffisamment de temps pour mes devoirs en maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
43. Mathématiques et féminité peuvent très bien aller ensemble.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
44. Les maths sont incontournables dans tous les domaines professionnels.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord
45. Je suis assidu·e et concentré-e durant le cours de maths.	Pas du tout d'accord	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 0 1 2 3 4 5	Tout à fait d'accord

Utilité : 10* / 17 / 34 / 41 / 44

Compétence : 09 / 12 / 21* / 24 / 36* / 39

Contrôlabilité : 06 / 26 / 29* / 33 / 35*

Affects positifs : 02 / 07 / 19 / 28 / 31 / 40

Affects négatifs : 03 / 14 / 16 / 23 / 27 / 38

Régulation affective : 04 / 11 / 13* / 25* / 30* / 32

Investissement : 01 / 05 / 18* / 22 / 42 / 45

Masculinité : 08 / 15 / 20 / 37 / 43*

Annexes 2 : Questionnaire Etat

1. Je me suis vraiment impliqué·e dans la résolution de cet exercice.	Pas du tout d'accord	☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	Tout à fait d'accord
2. Résoudre cet exercice m'a rendu·e de bonne humeur.	Pas du tout d'accord	☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	Tout à fait d'accord
3. J'ai pu résoudre cet exercice rapidement.	Pas du tout d'accord	☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	Tout à fait d'accord
4. Mes émotions m'ont perturbé·e durant la résolution de l'exercice.	Pas du tout d'accord	☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	Tout à fait d'accord
5. Je me suis efforcé·e de faire au mieux durant cet exercice.	Pas du tout d'accord	☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	Tout à fait d'accord
6. Je me suis senti·e compétent·e dans la résolution de cet exercice.	Pas du tout d'accord	☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	Tout à fait d'accord
7. J'ai ressenti des symptômes (palpitations, sueurs ou maux de ventre) durant cet exercice.	Pas du tout d'accord	☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	Tout à fait d'accord
8. Cet exercice permet de développer d'autres compétences (p.ex. déduction, logique).	Pas du tout d'accord	☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	Tout à fait d'accord
9. J'ai eu du plaisir à résoudre cet exercice.	Pas du tout d'accord	☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	Tout à fait d'accord
10. Cet exercice met bien en évidence l'utilité des mathématiques.	Pas du tout d'accord	☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	Tout à fait d'accord

Utilité : 8 / 10

Compétence : 3 / 6

Affects positifs : 2 / 9

Affects négatifs : 4 / 7

Investissement : 1 / 5

Annexe 3 : Analyse de l'erreur

Pour analyser les erreurs que les élèves ont fait durant la résolution du problème, nous avons regardé les résolutions des élèves ayant utilisé l'algébrique mais sans succès au problème des trains. La littérature (Crahay, 2008 ; Bednarz, 1992) avance que la plus grande difficulté est la modélisation du problème. Ainsi la première séparation des erreurs et de voir combien d'élèves ont échoué durant la phase de résolution du modèle. En regardant cela seulement 5 élèves ont fait le bon modèle mais ont commis une erreur de résolution. Ainsi 44 élèves ont commis des erreurs dans la modélisation du problème. A la lumière des erreurs présentées par Demonty (2008), et en regardant plus précisément les résolutions des élèves, nous avons mis en évidence 4 erreurs types.

La première raison de l'échec de modélisation est de ne pas avoir trouver la deuxième équation. Trois élèves ont commencé le système à deux inconnus et deux équations en égalisant le nombre de place dans les wagon avec le nombre de place nécessaire, puis n'ont pas réussi à trouver la deuxième équation.

La deuxième erreur est que certains élèves ont mal posé leur inconnue. En les posant, soit ils ne savaient pas ce qu'elles représentaient, des wagons, des places, ou des trains, soit ils commettaient une erreur en créant la deuxième variable. Cette erreur apparait pour 9 élèves et la représentation la plus fréquente de l'erreur est présentée ci-dessous.

	Mauvaise interprétation des inconnues
Elève 88	x = wagons (12 places) y+8 = wagon (16 places)
	$12 \cdot x + (y+8) \cdot 16 \ = 576$

L'erreur revenant le plus fréquemment est la mauvaise utilisation de l'égalité. En effet beaucoup d'élève ont égalisé le nombre de place avec le nombre de wagon, ou le nombre de place dans le premier train avec celui dans le deuxième train.

Elève 17	Egalise les places du premier train avec les places du second trains
	$12 \cdot x + (y+8) \cdot 16 \ = 576$ $12x = 16y - 8$

Elève 94	Egalise le nombre de wagon avec le nombre de places
	x= nbr de wagon de 12 places x+8 = nbr de wagon de 16 places $576 = x + x + 8$

A travers ces deux exemples on remarque facilement que cette erreur est liée avec les inconnus. Par exemple l'élève pose ses inconnues justes, mais quand il s'agit d'écrire l'égalité il oublie ce que ces inconnues veulent dire.

La dernière erreur apparait quelquefois dans les autres catégories. Quatorze élèves n'ont pas réussi à intégrer la notion « Le train a 8 wagons de plus ». En effet, ce 8 était intégrer dans leur équation souvent mais ils l'intégrer soit en le multipliant au x plutôt que l'additionner, soit ils l'additionnaient au $16x$ sans prendre en compte qu'il était lui aussi multiplier au 16. En résumé ils oubliaient que le 8 était un nombre de wagon ajouter au train, et donc additionnait des places avec un nombre de wagon, ou multipliait un nombre de wagon avec un nombre de wagon

Elève 10	Ne prend pas en compte que les 8 wagons ont 16 places chacun
	x= nbr de wagon train 16 places $12 \cdot x + (16x + 8) = 576$

Elève 45	Multiplie 8 avec un nombre de wagon
	x= nbr de wagon train 12 places y= nbr de wagons à 16 places $12 \cdot x + 16 \cdot y = 576$ $8 \cdot x = y$

Pour analyser ces erreurs à la lumière des attitudes nous avons regardé les moyennes de scores des attitudes. Mais n'oublions pas que les élèves dans ce groupe sont des élèves qui ont échoué au problème et qui ont utilisé l'algèbre. Comme nous l'avons vu ces variables indiquent déjà des changements significatifs d'attitudes.

Pour autant en regardant les attitudes nous voyons que les élèves ayant eu une erreur de résolution ont des attitudes positives face au mathématiques ou face à l'exercice. Cependant pour les erreurs dans la modélisation, les deux erreurs représentant le plus une mécompréhension de l'algèbre sont celles de l'inconnu et le problème d'égalité. Pour autant leur moyenne aux scores d'attitudes se rapprochent beaucoup de la moyenne générale, notamment pour l'erreur d'égalité. Pour l'erreur du aux inconnues les scores s'éloignent plus de la moyenne, surtout pour la variable de l'utilité et des affects négatif aux problèmes des trains. Mais ce groupe est formé de peu de élèves et donc n'est pas très représentatif. Pour approfondir ce sujet il faudrait avoir plus de participants, ou faire une analyse de cas.

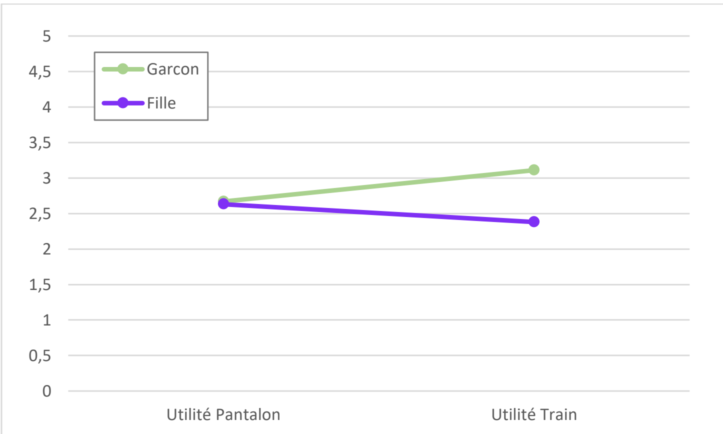
7 Annexe 3 : Quelques résultats sur le genre

Notre travail n'avait pas pour but d'étudier les différences de genre que nous pouvons retrouver dans plusieurs études. Cependant le genre ayant été donné par les élèves nous joignons quelques résultats obtenus.

Nous avons aussi effectué des analyses de variance en tenant compte du genre et du type de classe des élèves. De ces tests, deux se révèlent significatifs. L'utilité perçue chez les filles diminuent du problème des pantalons (M=2.63) au problème des trains (M=2.38) ($F_{(1,177)}$= 7.89 ; p<1%). Cette différence se perçoit chez les garçons mais pour eux leur score augment entre le problème des pantalons (M=2.67) et le problème des trains(M=3.11) (voir figure 13).

Figure 18

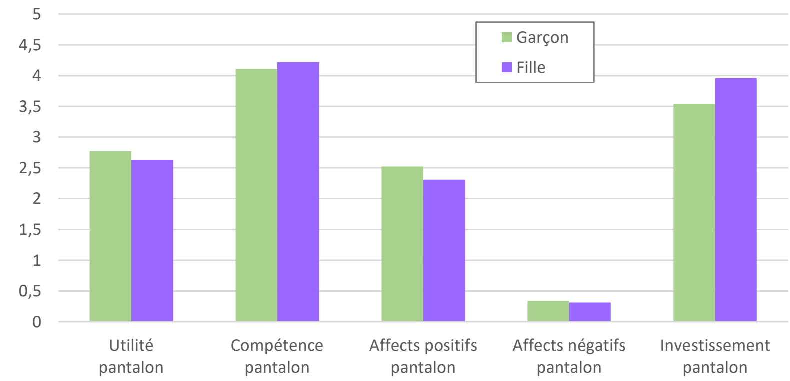
Différence de moyenne aux utilités perçues « état » des filles et des garçons



Nous avons fait des *t*-tests pour observer les différences de moyenne entre les filles et les garçons. Les tests de Levene sont non-significatifs, à l'exception de la dimension de l'investissement. Les *t*-test sont non-significatifs à l'exception de l'investissement, pour eux aussi. Pour cette attitude, l'effet est modéré, les filles évaluent leur investissement plus élevé que les garçons (voir figure 14).

Figure 19

Différence de moyenne aux attitudes au problème des trains en fonction du genre



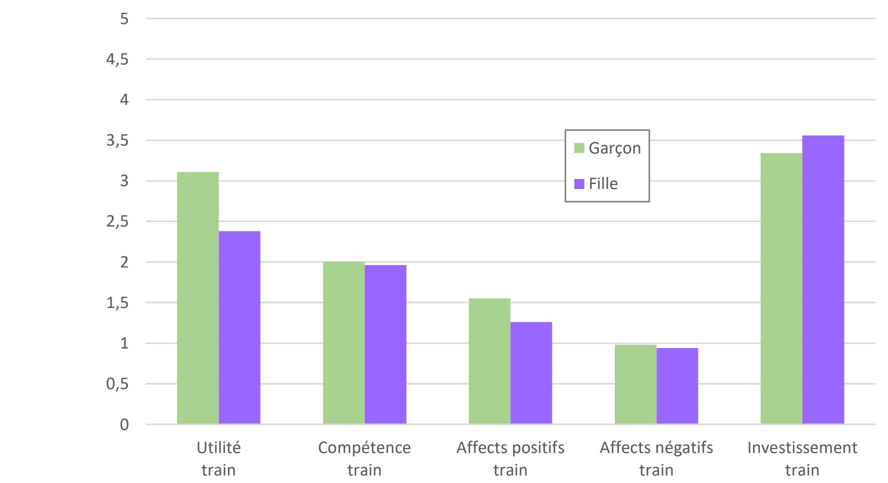
$t_{(179)}$	0.67	-.072	0.84	0.36	-2.18*
Taille d'effet	.10	-.11	.13	-.33	.52

Note. ** Les test sont significatifs avec un seuil de 1%,
* Les test sont significatifs avec un seuil de 5%

Pour le problème des trains, le seul *t*-test significatif est celui de l'utilité perçue, où les garçons évaluent l'utilité du problème comme plus élevée que les filles (voir figure 15). Par le test de Levene, nous avons une homogénéité des variances pour cette variable, nous n'avons pas besoin de considérer les valeurs ajustées. La taille d'effet est modérée.

Figure 20

Différence de moyenne aux attitudes au problème des trains en fonction du type de classe



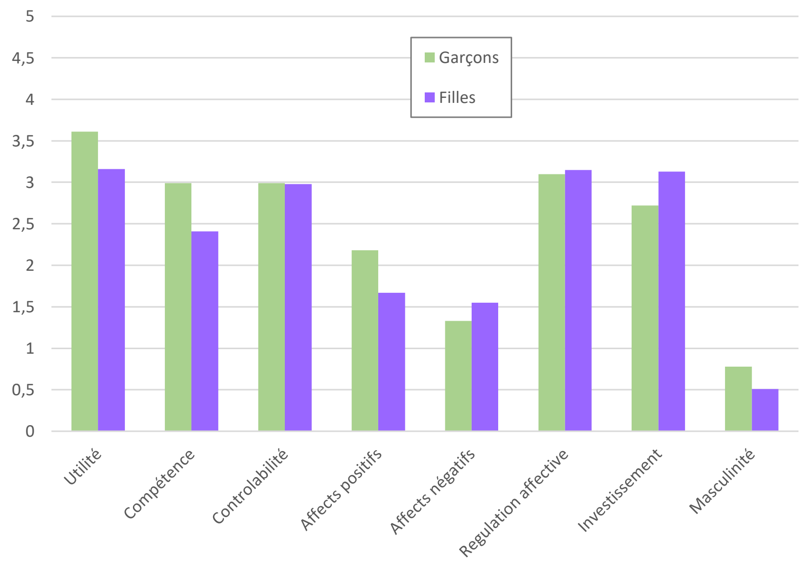
	Utilité train	Compétence train	Affects positifs train	Affects négatifs train	Investissement train
$t_{(179)}$	3.47**	0.15	1.34	0.25	-1.01
Taille d'effet	.52	.02	.20	.04	-.15

Note. ** Les test sont significatifs avec un seuil de 1%,
* Les test sont significatifs avec un seuil de 5%

Nous avons aussi regardé les différences d'attitudes générales envers les mathématiques entre les filles et les garçons, grâce au questionnaire général. Les filles et les garçons ont des scores significativement différents pour la plupart des attitudes générales envers les mathématiques (voir figure 16). Les effets sont modérés pour l'utilité, le sentiment de compétence, les affects positifs et l'investissement. Pour la masculinité, l'effet est faible.

Figure 21

Score aux attitudes générales en fonction du genre de l'élève



$t_{(178)}$	2.89**	2.74**	0.05	2.41**	-1.31	-0.32	-2.70**	1.74*
Taille des effet	.43	.41	.01	.36	-.20	-.05	-.40	.26

Note. ** Les test sont significatifs avec un seuil de 1%,
* Les test sont significatifs avec un seuil de 5%

Nous avons d'abord analysé des différences d'utilisations de ces méthodes de résolution par les élèves. Le lien entre la méthode à la résolution du problème des pantalons et le genre est non-significatif. ($\chi^2_{(2)}$=2.36 ; ns) Les filles et les garçons utilisent les trois méthodes avec le même ratio, en utilisant principalement l'arithmétique (voir figure 19).

Pour le problème des trains, le khi-carré entre la méthode de résolution et le genre s'est avéré significatif ($\chi^2_{(3)}$=14.41 ; p<1%) la taille de l'effet est petite (phi=.28). Les filles utilisent plus souvent l'algèbre et surtout elles sont beaucoup moins à ne pas donner de résolution (voir figure 27).

Pour ce qui est du genre, dans les 11 élèves qui ont échoué au problème des pantalons, 7 sont des garçons et 4 sont des filles. Ainsi le lien entre le genre et la réussite est non-significatif ($\chi^2_{(2)}$=1.54 ; ns).

Pour le problème des trains, des 115 élèves qui ont échoué 50 sont des garçons et 65 des filles, mais cet écart n'est pas révélateur d'une différence significative. Le khi carré entre la réussite et le genre au problème des trains est non-significatif ($\chi^2_{(2)}$=0.55 ; ns).

Figure 22

Réussite des élèves aux problèmes en fonction de leur genre

Problème des pantalons	*Garçons*	*Filles*
Réussite	75	94
Echec	7	4

Problème des trains	*Garçons*	*Filles*
Réussite	32	33
Echec	50	65

Déclaration sur l’honneur

Je, soussigné·e, déclare sur l’honneur avoir rédigé mon mémoire de Master seule et sans aide extérieure non autorisée.