

De la recherche à la pratique : Soutenir les apprenants et les enseignants de mathématiques

Résumé : Dans ce guide, nous présentons des idées qui ont été partagées lors du webinaire du *Professional Learning Network* par le Dr. John Mighton le 15 février 2022 (organisé via Zoom). Le guide présente des principes d'enseignement fondés sur des données probantes et sur les résultats de la recherche. Il présente aussi la mise en œuvre de *JUMP Math*. Des sujets adaptés à tous les niveaux scolaires comprennent :

- Comment enseigner aux apprenants novices ou experts? En utilisant « l'enquête structurée » pour faire participer l'ensemble des élèves.
- Comment aider les enseignants qui ressentent de l'anxiété et qui manquent de confiance pour enseigner les mathématiques?

Le présent guide contient quelques problèmes de mathématiques pour la 3^e à la 6^e année et des liens vers des ressources numériques et d'autres ressources pour les enseignants, les élèves, leurs parents et les tuteurs. Par exemple, des leçons en ligne sur la littératie financière , des leçons gratuites de la maternelle à la 8^e année pour atténuer la perte d'apprentissage ; le curriculum de la maternelle à la 8^e année et le cours en ligne gratuit *Math Minds* de la Werklund School of Education de l'Université de Calgary, etc.)



Introduction – Caractéristiques de JUMP Math

JUMP Math est une source de matériel pédagogique basé sur la recherche et de ressources de développement professionnel pour l'enseignement des mathématiques. Le programme a été développé par un organisme de bienfaisance primé qui se consacre à la réduction des écarts et des inégalités d'apprentissage mathématiques. Les recherches menées au Canada, aux États-Unis et ailleurs, montrent que ce programme réussit à remplacer l'anxiété liée aux mathématiques par une compréhension et un amour des mathématiques, tant chez les élèves que chez les enseignants. Les caractéristiques de *JUMP Math* sont orientées par l'application de la recherche et comprennent le développement de la confiance

en soi, l'enquête structurée, l'enseignement étayé, l'évaluation continue, l'enseignement différencié et le calcul mental. Ces caractéristiques sont bien alignées sur le nouveau programme de mathématiques de la première à la huitième année (2020).

Développement de la confiance en soi.¹ Comme le notent Darling-Hammond *et al.* (2020), lorsqu'ils sont confrontés à une tâche, les élèves se demandent souvent quels sont les outils dont ils disposent pour la résoudre, s'ils sont assez compétents, et s'ils se sentent en sécurité lorsqu'ils s'y engagent. La recherche en cognition montre que le cerveau peut être modifié par l'apprentissage si la personne est attentive. Cependant, le cerveau d'un élève ne peut être réellement attentif que si l'élève est confiant et enthousiaste et qu'il croit qu'il est utile de s'engager dans la tâche. Ceci est particulièrement important afin de réellement soutenir l'apprentissage des populations d'élèves qui ont un historique de résultats insuffisants en mathématiques et en sciences (Dweck, 2008). Dweck confirme que « les interventions qui changent les façons de penser peuvent améliorer les résultats et réduire les écarts de résultats dans une population d'élèves » [Notre traduction] (p. 2).

Parce que l'attitude et la mentalité² sont importantes, *JUMP Math* tente de réduire l'anxiété liée aux mathématiques en s'appuyant sur la réussite par petites étapes. Lorsque les élèves en difficulté sont convaincus qu'ils ne peuvent pas suivre le reste de la classe, leur cerveau commence à travailler moins efficacement, car ils ne sont jamais assez attentifs pour consolider complètement les nouvelles compétences ou développer de nouvelles voies neuronales. C'est pourquoi il est si important de donner aux élèves les compétences dont ils ont besoin pour participer aux cours et de leur donner l'occasion de se mettre en valeur en répondant à des questions devant leurs camarades de classe.

La recherche en psychologie et en enseignement des mathématiques met en évidence le processus d'émergence du symbolisme et de l'abstraction (Fyfe *et al.*, 2015, 2014). Dans l'apprentissage informel et formel des mathématiques, ce processus implique d'apprendre que « la quantité "deux" pourrait d'abord être représentée par deux pommes physiques, puis par une image de deux points représentant ces pommes, et enfin par le chiffre arabe 2 » [notre traduction] (Fyfe *et al.*, 2014, p. 11). Par conséquent, l'émergence du symbolisme et de l'abstraction implique l'utilisation de plusieurs modèles conceptuels mathématiques présentés selon une progression déterminée et graduelle.³

¹ Selon le Curriculum de l'Ontario, de la 1^{re} à la 8^e année - Mathématiques (2020), pour développer les compétences d'apprentissage socio-émotionnel (ASE), les élèves doivent « développer la conscience de soi et la confiance en soi » (p. 43).

² Un ensemble important de compétences et d'aptitudes transférables du 21^e siècle exige que « les élèves apprennent à réfléchir sur leur apprentissage (métacognition) et croient à leur capacité d'apprendre et de croître (mentalité de croissance). Elles et ils développent leurs habiletés à se fixer des objectifs, à rester motivés et à travailler de manière autonome. » (p. 48).

³ Le programme d'études recommande de « favoriser une attitude positive à l'égard des mathématiques grâce à des moyens multimodaux, y compris l'utilisation de technologies d'assistance et la réalisation de tâches authentiques » (p. 112).

Question : Quelles stratégies utilisez-vous pour motiver les élèves, les aider à se sentir en sécurité et à s'engager activement dans l'apprentissage?

Enquête structurée⁴. Pour que la stratégie d'enquête soit réussie, elle doit être présentée en étapes soigneusement étayées, en augmentant progressivement l'emprise de l'élève sur son apprentissage (MacKenzie, 2016). L'enquête structurée est une approche pédagogique équilibrée qui intègre des instructions explicites combinées à une pratique guidée et indépendante. Dans les cours de mathématiques JUMP, les élèves sont censés dériver les concepts et résoudre les problèmes eux-mêmes, mais l'enseignant fournit un encadrement suffisamment rigoureux pour s'assurer que tous les élèves y arrivent et non seulement quelques élèves avancés. Les élèves sont amenés à une compréhension conceptuelle profonde et à une aisance computationnelle.

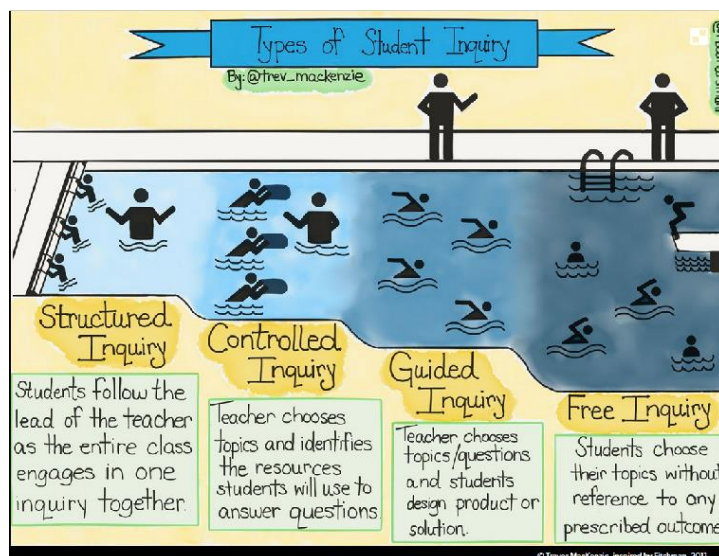


Figure 1. Types d'enquêtes des élèves par @trev_mackenzie - inspiré de Fitchman, 2011

Enquête structurée : Les élèves collaborent avec l'enseignant dans une enquête collective menée par ce dernier.

Enquête contrôlée : L'enseignant choisit les sujets et identifie les ressources que les élèves utiliseront pour répondre aux questions.

Enquête guidée : L'enseignant choisit les sujets/questions et les élèves doivent concevoir leurs produits ou leurs solutions.

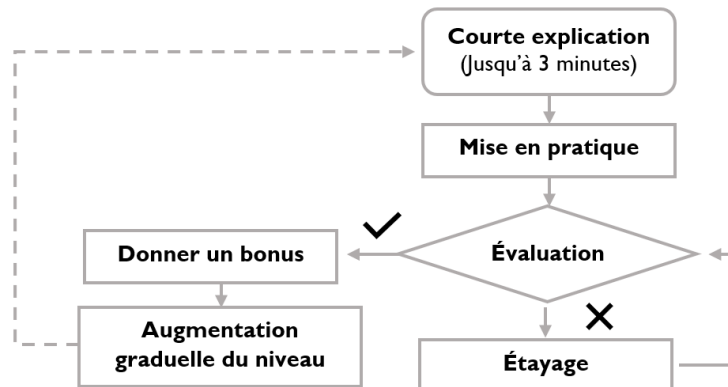
Enquête libre : Les élèves choisissent leurs sujets sans se référer à un objectif d'aboutissement prescrit.

Question : Comment mettez-vous en œuvre l'enquête dans vos classes ? Y a-t-il des étapes du modèle d'enquête en 4 étapes de MacKenzie que vous êtes prêt à essayer ?

Dans le cadre de l'enquête structurée, les enseignants proposent aux élèves une pratique ciblée qui suit immédiatement l'enseignement d'une compétence ou une étape d'un étayage de concept. L'enseignant n'aborde les concepts de manière explicite que pendant de brèves périodes avant de poser une question

⁴ L'une des catégories de connaissances et de compétences du programme scolaire est la suivante : « Habiletés de la pensée – L'utilisation d'un ensemble d'habiletés liées aux processus de la pensée critique et de la pensée créative » (p. 57).

ou de confier un défi que les élèves peuvent explorer de manière autonome, en dyades ou en groupes. Tout au long de ce processus et de manière continue, l'enseignant évalue et confirme la compréhension et la maîtrise des concepts de chaque élève.



Question : Quels aspects du modèle d'enquête structurée JUMP Math êtes-vous prêt à essayer ? Pourquoi, ou pourquoi pas ?

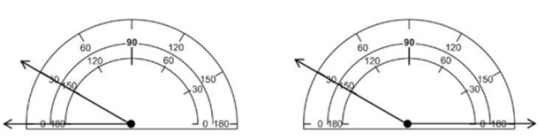
Enseignement étayé⁵. Pour réussir à résoudre des problèmes de façon efficace, il n'est pas nécessaire de résoudre un grand nombre de problèmes, mais les problèmes doivent être soigneusement conçus et sélectionnés (Sweller, 2008). Deux facteurs interfèrent lors de la résolution de problèmes : l'attention sélective de l'apprenant et sa capacité limitée de traitement cognitif. L'information superflue peut aussi faire obstacle à la résolution de problèmes (Kaminsky & Sloutsky, 2014). En particulier, les jeunes enfants se laissent facilement distraire par les informations superflues que le contexte d'apprentissage amène. « Ceci a pour effet d'entraver l'apprentissage de la structure pertinente ou de son transfert à de nouvelles situations » [notre traduction] (p. 351). Par conséquent, chaque leçon de JUMP Math propose une série d'exercices et d'explorations soigneusement étudiés, dans laquelle chaque nouveau concept découle du précédent.

Les défis d'apprentissage doivent être étayés en étapes gérables. Ce faisant, les éducateurs évitent les situations dans lesquelles les processus cognitifs de l'élève requis par les différentes activités se chevauchent, affectant négativement le processus de résolution des problèmes (Sweller, 2008). L'enseignement étayé est une pratique pédagogique efficace dans laquelle les nouvelles idées et compétences sont examinées et introduites par petites étapes progressives directement liées à l'apprentissage antérieur et fondées sur celui-ci.

⁵ Selon le document du curriculum 2020, « Le personnel enseignant choisit des stratégies d'enseignement efficaces pour présenter des concepts et examine différentes possibilités d'étayer son enseignement afin qu'il réponde de la meilleure façon possible aux besoins de l'élève » (p. 13).


Introduire les rapporteurs d'angles. Donnez un rapporteur d'angles à chaque élève et DIRE : ceci est un *rapporteur d'angle*. Demandez aux élèves d'examiner leur rapporteur d'angles et de le comparer à leur règle. Rappelez aux élèves que pour mesurer une longueur avec une règle, ils doivent aligner un bout de l'objet à mesurer avec la marque du zéro. Demandez aux étudiants de trouver la marque du zéro sur le rapporteur d'angles (il y en a deux, une à chaque extrémité). Mettez l'accent sur le fait que le rapporteur d'angles a deux graduations, dans la même unité, mais dans des directions opposées. Une règle peut avoir deux graduations aussi, mais typiquement ces graduations posséderont des unités de mesure différentes. Expliquez que d'avoir deux graduations identiques dans des directions opposées permettra de mesurer les angles à partir des deux côtés, mais que les élèves devront choisir la bonne graduation chaque fois.

Projetez un **rapporteur d'angles simple BLM** sur le tableau. Expliquez que les rapporteurs d'angles BLM sont des esquisses simplifiées d'un rapporteur d'angles; il n'y a pas toutes les petites marques entre deux angles plus grands. Dessinez les deux angles suivants sur le tableau :



En pointant la première image, DEMANDEZ : Est-ce que c'est un angle aigu ou un angle obtus? (Aigu) Encerclez les nombres 30 et 150 sous un des côtés de l'angle. DEMANDEZ : La mesure de cet angle est-elle...

Est-ce que ceci est un **angle aigu** ou un **angle obtus**?



Quel **angle est** affiché?

Indice : Lire sur l'échelle qui commence à « 0 » sur un côté de l'angle.

Question : Quelles stratégies utilisez-vous pour maximiser l'attention et la capacité de traitement cognitif des élèves ?

Évaluation continue⁶. Selon Darling-Hammond *et al.* (2020), « les évaluations qui accordent de l'importance au développement plutôt qu'aux notes obtenues à un moment précis se sont avérées être à l'origine d'une plus grande motivation, d'une plus grande autonomie et de niveaux d'engagement cognitif plus élevés, ainsi que des niveaux de réussite plus importants... [réduisant ainsi tout particulièrement] les écarts d'opportunité et de réussite pour les élèves traditionnellement marginalisés » [notre traduction] (p. 121). La progression de l'apprentissage contenue dans chaque leçon de JUMP Math permet une évaluation active et continue, souvent appelée « évaluation continue ». Par l'observation, le questionnement et l'interaction avec les élèves pendant qu'ils travaillent, les enseignants sont en mesure de vérifier la compréhension, d'identifier et de corriger les mauvaises conceptions et de différencier l'enseignement avec des interventions opportunes. L'évaluation continue a un impact positif sur l'apprentissage et donne souvent une image plus précise et plus complète des capacités d'un élève.

⁶ « Le but premier de toute évaluation et de la communication du rendement est d'améliorer l'apprentissage de l'élève » (p.53). Dans cette optique, les enseignants « fournissent à chaque élève des rétroactions descriptives continues, claires, spécifiques, significatives et ponctuelles afin de l'aider à s'améliorer » (p. 54).

Question : Quels aspects des évaluations basées sur la performance et orientées vers la compétence trouvez-vous efficaces dans votre pratique ?

Différenciation⁷. Chaque enfant est unique, ayant « un cheminement et des besoins uniques qui nécessitent un enseignement et une aide différenciés pour permettre une croissance optimale des compétences, de la confiance et de la motivation » [notre traduction] (Darling-Hammond et al., 2020, p. 98). De plus, les apprenants novices sont différents des apprenants experts. *JUMP Math* reconnaît que les classes sont diverses dans leur composition et leurs besoins, et que les élèves se distinguent dans leurs niveaux de concentration, d'engagement, de rapidité de réflexion et de leur volonté à explorer et démontrer leur apprentissage. Pour soutenir cette diversité, les leçons et les ressources de *JUMP Math* proposent plusieurs approches pour explorer ainsi que pratiquer les mathématiques et évaluer les compétences. Les enseignants peuvent différencier les tâches de développement des compétences sans différencier les résultats de leurs élèves en enseignant les leçons en courtes séquences pédagogiques et en proposant des exercices étayés, des activités pratiques et des questions d'approfondissement. Dans *JUMP Math*, la maîtrise est l'objectif de chaque leçon, et tous les élèves sont soutenus pour atteindre cet objectif. Outre l'attention portée à chaque enfant, les années de mise en œuvre nous ont convaincus que les enfants peuvent éprouver collectivement un sentiment d'émerveillement ou d'excitation.

Question : Quelle est votre vision d'un enseignement inclusif pour tous les étudiants ?



⁷ Selon le document du curriculum 2020, « La différenciation pédagogique fait partie du cadre de la conception globale de l'apprentissage et comprend également les adaptations apportées au cours des processus d'enseignement et d'apprentissage en réponse à « l'évaluation au service de l'apprentissage ». Des stratégies courantes utilisées en classe à l'appui de la différenciation pédagogique comprennent l'apprentissage coopératif, l'apprentissage par projet, l'approche par problèmes et l'enseignement explicite. À moins que l'élève n'ait un plan d'enseignement individualisé (PEI) comportant des attentes modifiées, ce sont toujours les attentes et les contenus d'apprentissage du programme-cadre qui orientent ce que tous les élèves apprennent » (p. 13).

Calcul mental⁸. Price, Mazzocco et Ansari (2013) soutiennent que la maîtrise du calcul mental de base joue un rôle fondamental dans l'acquisition de compétences mathématiques de haut niveau, même dans l'enseignement supérieur. Le calcul mental est un cadre mathématique qui comprend le sens des nombres, la fluidité du calcul et l'application des concepts numériques par le biais d'une pratique utilitaire et variée, et non seulement par la mémorisation « par cœur ». Dans *JUMP Math*, les connaissances de base sont valorisées et le calcul mental est régulièrement pratiqué.

$$2 \times 6 = 12$$

$$4 \times 6 = 24$$

$$6 \times 6 = 36$$

$$8 \times 6 = 48$$

Question : Trouvez-vous que les compétences en calcul mental sont utiles même pour les élèves plus âgés ?

Pour conclure, les recherches en sciences cognitives ont montré que les élèves apprennent beaucoup plus efficacement lorsque les enseignants :

- ✓ fournissent une rétroaction adéquate,
- ✓ évitent la surcharge cognitive,
- ✓ aident les élèves à développer des représentations mentales en dirigeant leur attention sur les caractéristiques saillantes du problème,
- ✓ étayent les défis en étapes gérables, en ne faisant varier qu'un ou deux éléments d'un problème à la fois,
- ✓ fournissent la pratique adéquate pour consolider les concepts, et
- ✓ relèvent progressivement le niveau de difficulté pour susciter l'engagement.

Recherche sur JUMP Math

*Math Minds*⁹ est un partenariat de recherche entre *JUMP Math*, la *Werklund School of Education* de l'Université de Calgary et plusieurs districts scolaires de l'Alberta. Au cours d'une étude de cinq ans, les élèves ont pratiquement doublé leur rang centile sur les échelles de compréhension conceptuelle et de résolution de problèmes du *Canadian Test of Basic Skills*.

Au cours de la deuxième année d'un essai contrôlé aléatoire mené par l'Université de Toronto et le *Hospital for Sick Children* (Solomon et al. 2019), les élèves de troisième année ont progressé considérablement plus en matière de résolution de problèmes que les élèves du groupe témoin (avec

⁸ Le calcul mental est une des stratégies du curriculum 2020 en mathématique qui doit se pratiquer à l'école, mais aussi dans toute sorte de situations en dehors de l'école, comme à l'épicerie, lors de jeux basés sur les mathématiques et lors de la résolution de casse-têtes; en utilisant « des occasions de faire des calculs mentaux, des estimations et des prédictions » (p. 80).

⁹ Consultez le [site web de Math Minds](#) pour un résumé des résultats, des publications et un cours en ligne gratuit pour les enseignants.

une taille effective importante de 0,54 dans le groupe haute fidélité). Les élèves du programme JUMP ont également progressé considérablement plus en lien avec d'autres mesures de la réussite en mathématique.

Basé sur les entretiens avec 100 enseignants, menés dans le cadre d'une collaboration avec le conseil scolaire de Vancouver, JUMP Math :

- ✓ Favorise la réflexion indépendante,
- ✓ Crée de l'excitation et de la curiosité,
- ✓ Aide les élèves à organiser leur pensée et à articuler ce qu'ils ont appris,
- ✓ Favorise les sentiments de confiance et la volonté de prendre des risques, et
- ✓ Favorise « un sentiment de connexion et un sentiment d'appartenance à un groupe plus large ».

Le rapport a constaté un « accord généraliser parmi les enseignants sur le fait que *JUMP Math* développe chez eux [les élèves] une confiance, une auto-efficacité et le sentiment qu'ils peuvent faire des maths et même les aimer » [notre traduction]. Une autre éducatrice a écrit : « En vingt ans d'enseignement, je n'ai jamais vu des élèves aussi enthousiastes à propos des mathématiques. » [Notre traduction] (Katie Henderson, superviseure des programmes scolaires de la paroisse de Morehouse).

Pourquoi ces résultats sont-ils possibles ?

Les conclusions d'Alfieri *et al.* (2011) suggèrent que « la découverte non assistée n'est pas bénéfique pour les apprenants, alors que la rétroaction, les exemples travaillés, l'étayage et la sollicitation d'explication le sont » [notre traduction] (p. 1). Dans sa méta-analyse de la recherche en éducation, Hattie (2003) a constaté que :

Dans des situations scolaires, les résultats ont plus de chances d'être améliorés lorsque les élèves utilisent des stratégies d'apprentissage plutôt que des stratégies de performance, qu'ils acceptent les commentaires plutôt que de les ignorer, qu'ils se fixent des objectifs difficiles plutôt que faciles, qu'ils se comparent aux critères de réussite de la matière plutôt qu'aux autres élèves, qu'ils ont une efficacité d'apprentissage élevée plutôt que faible et qu'ils font preuve d'autorégulation et de contrôle personnel plutôt que de répéter une impuissance apprise en contexte scolaire. [notre traduction] (p. 47)

Les preuves apportées par les sciences cognitives suggèrent que les mathématiques sont un sujet qui devrait être accessible à tous les cerveaux. De même, les logiciens ont prouvé que toutes les mathématiques peuvent être réduites à des étapes conceptuellement triviales. Les psychologues ont montré que pratiquement toutes les capacités peuvent être développées par un processus appelé « pratique délibérée ». Hattie affirme que le cerveau des élèves fonctionne plus efficacement...

- ✓ ... lorsqu'ils peuvent rencontrer des difficultés ou commettre des erreurs sans être pénalisés et sans avoir le sentiment d'être inférieurs;
- ✓ ... lorsqu'on leur donne un travail qui semble difficile, mais qui ne l'est pas trop.

Les chercheurs de *Math Minds*, de la *Werklund School of Education* de l'Université de Calgary, ont examiné des programmes canadiens et internationaux et ont choisi *JUMP Math* comme partenaire en raison du niveau de détail et de rigueur de l'étayage JUMP. Cet étayage, qui rend les petites variations conceptuelles visibles pour les enseignants, aide les apprenants à faire des découvertes et des « discernements critiques ». L'approche de *JUMP Math* consiste à maintenir les élèves dans une zone de difficulté productive, tout en sachant que la largeur de cette zone est différente pour les apprenants novices et les experts.

Conclusions

Avant même la pandémie de 2020-21, les éducateurs s'inquiétaient des statistiques montrant que les élèves qui prennent du retard ne sont pas toujours en mesure de le rattraper par rapport à leurs camarades plus performants (Dougherty et Fleming, 2012). De plus, ce rattrapage est plus probable au début du secondaire qu'aux niveaux scolaires supérieurs. Pendant la pandémie, les écarts entre les élèves ont augmenté. La modélisation de Kaffenberger (2021) suggère que les élèves pourraient perdre plus d'une année complète d'apprentissage lors de la fermeture des écoles de trois mois due au COVID. Cependant, les modèles indiquent également des possibilités d'atténuation massive grâce à la mise en œuvre de programmes de remédiation agressifs.

La vision de JUMP Math est que les mathématiques sont intéressantes en soi, et que la science de l'apprentissage peut nous guider pour atteindre et engager tous les élèves dans l'apprentissage. Ces énoncés de vision et les ressources, y compris les possibilités d'apprentissage professionnel, nous font espérer qu'un soutien efficace est disponible pour les apprenants et les enseignants de mathématiques.

Questions à discuter avec les enseignants de mathématiques

I. Question pour les responsables des mathématiques :

"Votre enseignant prévoit d'enseigner une leçon de résolution de problèmes la semaine prochaine en utilisant une question comme celle-ci. Comment préparez-vous votre enseignant à planifier cet enseignement ?"

Note : Dans des groupes de discussion, écoutez et notez ce qui est partagé. Revenez pour partager sur diapositive les éléments qui sont ressortis comme : les conceptions non-viables, quelles connaissances préalables sont nécessaires, que ferez-vous si un élève a tout bon, comment pouvez-vous étayer son apprentissage s'il a besoin de soutien ou s'il a besoin d'un défi plus important ?

2. Après avoir parcouru la liste des ressources, demandez :

"Comment ces ressources pourraient-elles soutenir vos efforts pour réduire l'écart ?"

Remarque : il y a possibilité d'essayer ces exercices dans vos écoles; si vous souhaitez piloter une série d'exercices pour favoriser l'esprit de croissance et développer les fonctions exécutives des élèves, veuillez nous contacter.

3. Faites un sondage auprès de vos participants :

Souhaitez-vous vous engager davantage avec nous à JUMP Math autour de ce qui suit ?

- *Essayer nos activités de construction de confiance en soi et d'apprentissages sociaux-émotionnels.*
- *En savoir plus sur le coaching des enseignants dans JUMP Math*
- *Faire partie d'un groupe consultatif de leaders*
- *JUMP dans un cadre secondaire*
- *Je veux en savoir plus sur l'éducation financière, comment utiliser les leçons essentielles, Math Minds, ou autres.*

La liste des ressources et des liens

JUMP Math a développé une variété de matériel pour vous aider à enseigner les mathématiques. Dans cette section, nous fournissons des liens vers les composants et les caractéristiques du [matériel pédagogique de JUMP Math](#) :

- ✓ Leçons d'éducation financière
- ✓ Leçons essentielles gratuites pour la maternelle à la 8^e année
- ✓ Apprentissage professionnel et coaching
- ✓ Ressources en classe pour le nouveau curriculum de l'Ontario de la maternelle à la 8e année
- ✓ [Cours Math Minds](#)

Références

- Dougherty, C., & Fleming, S. (2012). Getting students on track to college and career readiness: How many catch up from far behind? ACT.inc Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J., & Tenenbaum, H. R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology*, 103(1), 1–18.
- Darling-Hammond, L., Flook, L., Cook-Harvey, C., Barron, B., & Osher, D. (2020). Implications for educational practice of the science of learning and development. *Applied Developmental Science*, 24(2), 97-140.
- Dougherty, C., & Fleming, S. (2012). *Getting students on track to college and career readiness: How many catch up from far behind?* ACT.inc. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED542022.pdf>
- Dweck, C. S. (2008). *Mindsets and math/science achievement*. New York: Carnegie Corporation of New York, Institute for Advanced Study, Commission on Mathematics and Science Education.

- Fyfe, E. R., McNeil, N. M., & Borjas, S. (2015). Benefits of “concreteness fading” for children's mathematics understanding. *Learning and Instruction*, 35, 104-120.
- Fyfe, E. R., McNeil, N. M., Son, J. Y., & Goldstone, R. L. (2014). Concreteness fading in mathematics and science instruction: A systematic review. *Educ Psychol Rev*, 26, 9-25.
- Hattie, J. (2003). Teachers make a difference: what is the research evidence? Paper presented to the *Australian Council for Educational Research Annual Conference on Building Teacher Quality*, Melbourne.
- Kaffenberger, M. (2021). Modelling the long-run learning impact of the Covid-19 learning shock: Actions to (more than) mitigate loss. *International Journal of Educational Development*, 81, 102326.
- Kaminsky, J. A., & Sloutsky, V. M. (2014). Extraneous perceptual information interferes with children's acquisition of mathematical knowledge. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 351–363.
- MacKenzie, T. (December 1, 2016). Bringing inquiry-based learning into your class: A four-step approach to using a powerful model that increases student agency in learning. *Edutopia*.
<https://www.edutopia.org/article/bringing-inquiry-based-learning-into-your-class-trevor-mackenzie>
- Ontario Ministry of Education. (2020). *The Ontario Curriculum Grades 1–8: Mathematics*. (Anglais) (Français)
- Price, G. R., Mazzocco, M. M., & Ansari, D. (2013). Why Mental Arithmetic Counts: Brain Activation during Single Digit Arithmetic Predicts High School Math Scores. *Journal of Neuroscience*, 33(1), 156-163.
- Solomon, T., Dupuis, A., O’Hara, A., Hockenberry, M.N., Lam, J., et al. (2019). A cluster-randomized controlled trial of the effectiveness of the JUMP Math program of math instruction for improving elementary math achievement. *PLOS ONE*, 14(10). e0223049.
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0223049>
- Sweller, J. (1998). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257-285.



Le MKN (Mathematics Knowledge Network) est financé par le ministère de l'Éducation de l'Ontario. Le MKN est un projet KNAER (The Knowledge Network of Applied Education Research), organisé par l'Institut Fields pour la recherche en sciences mathématiques. Les opinions exprimées dans ce document appartiennent à John Mighton et Dragana Martinovic, et ne reflètent pas nécessairement les opinions du ministère de l'Éducation ou du gouvernement de l'Ontario.

