



HAL
open science

Mise en évidence du contrôle inhibiteur et efficacité d'un entraînement neurocognitif et ludique pour les mathématiques

Anne-Marie Vimard, Cédric Vanhoolandt, Marine Moyon

► To cite this version:

Anne-Marie Vimard, Cédric Vanhoolandt, Marine Moyon. Mise en évidence du contrôle inhibiteur et efficacité d'un entraînement neurocognitif et ludique pour les mathématiques. L'enseignement supérieur et les communautés : des dynamiques interconnectées (AIPU 2024), Association internationale de pédagogie universitaire (AIPU), May 2024, Sherbrooke (Québec), Canada. hal-04617151

HAL Id: hal-04617151

<https://hal.science/hal-04617151v1>

Submitted on 19 Jun 2024

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

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

Mise en évidence du contrôle inhibiteur et efficacité d'un entraînement neurocognitif et ludique pour les mathématiques

Anne-Marie Vimard¹, Cédric Vanhoolandt^{2,3} & Marine Moyon²

¹ Département de mathématiques, Université de Versailles-Saint-Quentin, Versailles, France ;

² Chaire de recherche-action sur l'innovation pédagogique, Institut Villebon-Georges Charpak, Université Paris-Saclay, Orsay, France ;

³ Institut de Recherches en Didactiques et Éducation de Namur, Université de Namur, Namur, Belgique

anne-marie.coron@uvsq.fr ; cedric.vanhoolandt@universite-paris-saclay.fr & marine.moyon@universite-paris-saclay.fr

Résumé

De profondes difficultés persistent chez de très nombreux étudiant·es du supérieur notamment dans des prérequis mathématiques élémentaires. Il est primordial pour l'enseignant·e d'amener des actions favorisant une forme d'engagement des étudiant·es et visant à améliorer leurs capacités cognitives.

Les sciences cognitives ont pu mettre en évidence le fonctionnement cérébral basé sur un modèle de trois systèmes cognitifs : le système heuristique, le système algorithmique et le contrôle inhibiteur, qui assure une fonction d'arbitrage en inhibant le premier système pour activer le deuxième. Pour mettre en évidence le contrôle inhibiteur, nous avons utilisé la technique de l'amorçage négatif dans le cadre d'un test de comparaison de fractions. Nous avons également proposé des sessions d'entraînement du contrôle inhibiteur sous la forme d'un dispositif ludo-pédagogique.

Notre étude s'est déroulée entre septembre et novembre 2023 dans une université de taille moyenne en banlieue parisienne sur un échantillon de 51 étudiant·es. Les étudiant·es ont passé un prétest et un post-test de comparaison de fractions, deux tests académiques et ont eu trois sessions d'entraînement du contrôle inhibiteur.

Des différences concernant les tests académiques sont relevées. Cette étude réplique aussi dans le contexte de la classe des résultats précédemment obtenus en laboratoire. Cela confirme l'implication du contrôle inhibiteur dans une tâche de comparaison de fraction chez des étudiant·es de niveau universitaire.

Abstract

Many students in higher education still have serious difficulties with mathematics prerequisites. Taking action to engage students and improve their cognitive abilities is necessary for teachers.

Cognitive science has demonstrated that the brain works according to a model of three cognitive systems: the heuristic system, the algorithmic system and inhibitory control, which acts as an arbitrator by inhibiting the first system in order to activate the second one. To demonstrate inhibitory control is used by the student, we used the negative priming technique in a fraction comparison test. We also proposed inhibitory control training sessions in the form of a ludopedagogical device.

Our study took place between September and November 2023 at a medium-sized university in the Paris area, with a sample of 51 students. The students took a fraction comparison pre- and post-test, two academic tests and three inhibitory control training sessions.

Differences in the academic tests were highlighted. This study also replicates in the classroom context results previously obtained in the laboratory. This confirms the involvement of inhibitory control in a fraction comparison task in university students.

Mots-clés

Apprentissage, mathématiques, contrôle inhibiteur, entraînement neurocognitif

1. Problématique

Une très récente analyse internationale d'indicateurs sur l'éducation (OCDE, 2023) montre que la proportion d'étudiant·es diplômé·es de l'enseignement secondaire ne fait qu'augmenter depuis plusieurs années. En outre, selon ce rapport (OCDE, 2023), de profondes difficultés persistent chez de très nombreux étudiant·es du supérieur notamment dans des prérequis mathématiques élémentaires.

Au vu de son caractère parfois abstrait, l'apprentissage des mathématiques peut apparaître difficile. Sans un engagement adéquat de l'étudiant·e dans cette matière, on imagine aisément que ses résultats académiques ne devraient pas être à la hauteur des objectifs attendus de réussite.

Dès lors, il est primordial pour l'enseignant·e d'amener des actions favorisant une forme d'engagement des étudiant·es. Celles-ci peuvent particulièrement s'articuler dans le cadre d'une recherche-action centrée sur l'innovation pédagogique et visant à améliorer les capacités cognitives des étudiants.

2. Cadre théorique

Pour l'être humain, face à un problème, raisonner demande un effort et n'aboutit pas toujours à la solution du problème. Cela est notamment dû au fonctionnement cérébral pour lequel les sciences cognitives apportent un éclairage intéressant.

2.1. Les systèmes cognitifs

En utilisant la chronométrie mentale – c'est-à-dire la mesure du temps de réponse à une tâche cognitive –, des chercheurs (voir Borst, Aïte & Houdé, 2015) ont pu mettre en évidence un fonctionnement cérébral basé sur un modèle de trois systèmes cognitifs.

Le premier, appelé *système heuristique*, se caractérise par une pensée « automatique » et intuitive. Ce système a l'avantage d'être rapide mais sa fiabilité est incertaine. Le second, *système algorithmique*, est caractérisé par une pensée réfléchie « logico-mathématique ». Sa fiabilité est maximale mais il est plus lent que le premier système. Ces deux systèmes peuvent entrer en compétition à tout moment ; c'est pourquoi se met en œuvre un troisième système, appelé *contrôle inhibiteur* - qui assure une fonction d'arbitrage en inhibant le premier pour activer le deuxième.

2.2. L'amorçage négatif

Pour mettre en évidence le contrôle inhibiteur, plusieurs techniques existent, notamment l'imagerie par résonance magnétique, l'électro-encéphalogramme et l'amorçage négatif. Dans le cadre de notre étude, pour des raisons d'accès au matériel en contexte scolaire, nous avons utilisé la technique de l'amorçage négatif.

Cette technique consiste à soumettre une tâche nécessitant l'inhibition du système 1, puis une tâche nécessitant le même système et de constater que le temps d'activation de ce système est rallongé après avoir été inhibé (Borst et al., 2015).

2.3. Contrôle inhibiteur et comparaison de fractions

Spécifiquement dans une tâche de comparaison de fraction ayant des numérateurs identiques, le rôle du contrôle inhibiteur a été mis en évidence (Rossi et al., 2019).

En effet, une source majeure des difficultés rencontrées avec les fractions est le *biais du nombre naturel* (Van Hoof et al., 2020) : ce biais consiste à appliquer, de manière inappropriée, une connaissance acquise pour les nombres naturels à une fraction. Par exemple, ce biais incite à considérer que $1/3$ est plus petit que $1/4$, car 3 est plus petit que 4.

En outre, une étude menée par Van Hoof et al. (2020) a montré que, dans le cadre de comparaison de fractions, les meilleurs taux de réponse étaient obtenus pour des fractions congruentes et des temps de réaction plus longs étaient observés pour des fractions incongruentes.

Pour contrer ce biais, certains auteurs ont proposé un entraînement.

2.4. Entraînement du contrôle inhibiteur et performance scolaire

Un entraînement cognitif semblerait avoir eu des bénéfices sur la performance à une tâche de comparaison de fractions chez des élèves adolescents (Vanhoollandt & Plumet, sous presse). Cet entraînement comprenait 24 sessions de 10 minutes proposant des tâches liées à l'inhibition. D'autres enseignant·es, collaborant avec l'équipe de recherche d'Olivier Houdé, ont utilisé des jeux d'inhibition tels que « *Jacques a dit* » ou « *Ni oui, ni non* » pour entraîner les enfants. Ces initiatives pédagogiques semblent avoir amélioré le contrôle inhibiteur des participants.

2.5. Question de recherche

Ce cadre nous amène à nous interroger sur les bénéfices probables d'un dispositif ludopédagogique basé sur le contrôle inhibiteur chez des étudiant·es dans un contexte académique.

Sur cette question, nous formulons les hypothèses suivantes :

- des bénéfices devraient être constatés sur certaines performances académiques, notamment en mathématiques ;
- un bénéfice devrait être mesuré sur le fonctionnement du contrôle inhibiteur.

3. Matériels et méthode

3.1. Participants

Cette étude s'est déroulée entre septembre et novembre 2023 dans une université de taille moyenne en banlieue parisienne.

Chaque semaine, dans le cadre de l'unité d'enseignement en mathématiques, les étudiant·es assistent à un cours magistral en amphithéâtre (1h30) et à une séance de travaux dirigés (TD) de 3 heures.

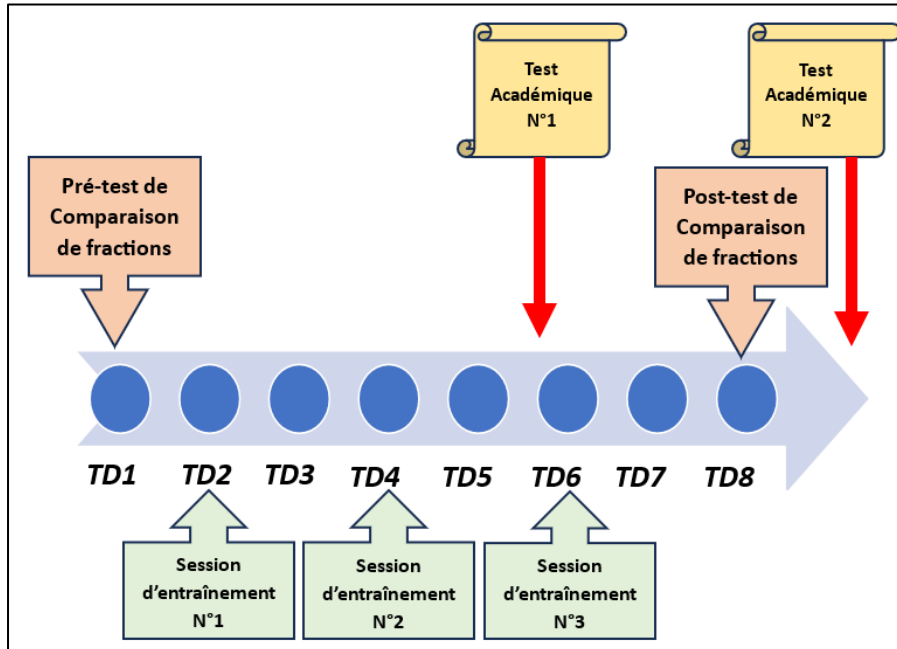
L'échantillon est constitué de 51 étudiant·es en première année de licence (L1, âge moyen : 19 ans, majoritairement des hommes).

Cet échantillon est divisé en deux groupes : un groupe expérimental et un groupe contrôle. Les participants ignorent à quel groupe ils appartiennent.

3.2. Déroulement général de l'étude

L'étude s'est déroulée selon le schéma présenté en figure 1.




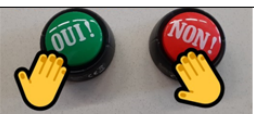

Figure 1. Déroulement de l'étude.



3.3. Dispositif d'entraînement

L'entraînement consiste en trois sessions d'une activité ludo-pédagogique. Les trois sessions suivent le même déroulement (voir tableau 1).

Tableau 1. Déroulement d'une session.

1		La classe est divisée en 2 équipes et chaque équipe désigne un capitaine
2		Un capitaine prend une question écrite sur une fiche et la lit à haute voix pour son équipe. La réponse à cette question est « OUI » ou « NON »
3		Les étudiants d'une même équipe réfléchissent à la réponse avec leur capitaine
4		Le capitaine appuie sur le buzzer correspondant à la réponse donnée par son équipe
5		En cas de mauvaise réponse, l'enseignant fait le point avec l'équipe.
Retour à l'étape 2 avec l'autre équipe		

Chaque session comporte environ dix questions (voir exemple dans le tableau 2).

Tableau 2. Exemple de questions.

Question 1 = Question « piège »	<i>Si la suite $(u_n + v_n)$ est convergente, alors les suites (u_n) et (v_n) le sont aussi</i>	Réponse attendue = NON Question piège nécessitant une réflexion car la réciproque est vraie (c'est-à-dire : la proposition « si les suites (u_n) et (v_n) sont convergentes, alors la suite $(u_n + v_n)$ l'est aussi » est vraie)
Question 2 = Question « évidente »	<i>si la suite (u_n) est convergente, alors elle est bornée</i>	Réponse attendue = OUI Question évidente ne nécessitant pas de réflexion particulière car il s'agit d'un résultat du cours à connaître.

3.4. Outils de collecte des données

3.4.1. Tests académiques

Pendant la durée de l'étude, les étudiant·es ont passé deux tests académiques dans le cadre du contrôle continu. Ces tests académiques, d'une durée de 1h30, étaient notés sur 20 points et portaient sur des sujets mathématiques (suites, fonctions, développements limités, etc.).

3.4.2. Test de comparaison de fractions

Le test de comparaison de fraction est rendu disponible sur une plateforme sécurisée d'outils neurocognitifs à partir d'un appareil portable tactile.

Le test consiste à proposer une paire de fractions, de numérateurs (compris entre 1 et 9) différents et dénominateurs (compris entre 2 et 9) différents. Les étudiant·es doivent cliquer sur la fraction la plus grande.

Après un court temps de familiarisation, le test permet de comparer 32 items (i.e. paires de fractions) pour lesquels les paramètres des réponses sont enregistrés.

Chaque item est congruent ou incongruent ou neutre (voir tableau 3).

Tableau 3. Caractérisation des items congruents / incongruents / neutres.

Item	Description	Conditions	Exemple
Congruent	Le numérateur et le dénominateur de la fraction la plus petite sont inférieurs aux numérateur et dénominateur de la fraction la plus grande	$\frac{n_1}{d_1} < \frac{n_2}{d_2}$ avec $\begin{cases} n_1 < n_2 \\ d_1 < d_2 \end{cases}$	$\frac{1}{3} < \frac{2}{5}$
Incongruent	Le numérateur et le dénominateur de la fraction la plus petite sont supérieurs aux numérateur et dénominateur de la fraction la plus grande	$\frac{n_1}{d_1} < \frac{n_2}{d_2}$ avec $\begin{cases} n_1 > n_2 \\ d_1 > d_2 \end{cases}$	$\frac{3}{8} < \frac{2}{5}$
Neutre	La fraction la plus petite a un numérateur plus petit et un dénominateur plus grand que ceux de la fraction la plus grande	$\frac{n_1}{d_1} < \frac{n_2}{d_2}$ avec $\begin{cases} n_1 < n_2 \\ d_1 > d_2 \end{cases}$	$\frac{1}{7} < \frac{4}{3}$

Les items sont organisés par paires :

- Des paires de type *piège*, ce qui signifie qu'un item incongruent est suivi d'un item congruent ;
- Des paires de type *évidence*, ce qui signifie qu'un item neutre est suivi d'un item congruent.

Le test de comparaison de fractions comporte autant paires de type *piège* que de paires de type *évidence*.

Les réponses et les temps de réponse sont enregistrés et permettent de construire les indicateurs repris dans le tableau 4.

Tableau 4. Liste des indicateurs.

<i>Indicateur</i>	<i>Description</i>
Acc	Nombre de bonnes réponses (« Accuracy » = exactitude en anglais)
%Acc	Pourcentage de bonnes réponses
RT	Temps de réponse
RTm	Temps de réponse moyen (exprimé en secondes)
RCS	Indicateur de performance calculatoire utilisé dans d'autres études (Vanhoolandt et Plumet, sous presse) et permettant de prendre en compte la justesse des réponses et le temps de réaction (Rate Correct Score) calculé de la manière suivante : $RCS = \frac{Acc}{\sum RT}$ Le RCS est exprimé en nombre de bonnes réponses par seconde.
Piège (tous)	RCS pour tous les deuxièmes items d'une paire de type <i>piège</i> (ayant obtenu une bonne réponse ou non)
Piège réussi	RCS pour les deuxièmes items d'une paire de type <i>piège</i> ayant obtenu une bonne réponse
Evidence (tous)	RCS pour tous les deuxièmes items d'une paire de type <i>evidence</i> (ayant obtenu une bonne réponse ou non)
Evidence réussi	RCS pour les deuxièmes items d'une paire de type <i>evidence</i> ayant obtenu une bonne réponse

4. Résultats

4.1. Résultats des tests académiques

Les résultats aux deux tests académiques sont repris dans le tableau 5. Pour vérifier la significativité statistique des résultats, un test *t de Student* utilisant l'approximation de *Welch* a été utilisé.

Tableau 5. Comparaison des tests académiques.

	Nombre d'étudiant-es	Test académique n°1		Test académique n°2	
		Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Groupe expérimental	16	8,27	4,96	9,74	5,62
Groupe contrôle	35	6,99	3,16	7,32	3,71
p-valeur		p=0,28		p=0,08	

Les résultats obtenus par le groupe expérimental sont meilleurs que ceux du groupe contrôle de façon tendancielle pour le test académique n°2.

4.2. Résultats des tests de comparaison de fractions

Pour chacun des types d'items et pour les deux tests, il est possible de calculer les indicateurs de performance à la tâche pour l'ensemble du groupe. Ces valeurs sont présentées au tableau 6.

Tableau 6. Résultats obtenus par le groupe expérimental.

N = 17 étudiant·es	Prétest			Post-test			Évolution de la performance calculatoire entre les tests
	RCS	RTm	% Acc	RCS	RTm	% Acc	
Types de paire							
« Piège » (tous)	0,122	5,66		0,109	6,29		-11%
« Piège » réussi	0,120	5,83	80%	0,115	6,03	78%	-4%
« Évidence » (tous)	0,152	5,37		0,120	6,00		-21%
« Évidence » réussi	0,144	5,54	83%	0,132	5,78	86%	-8%

Tant au prétest qu'au post-test, les temps de réaction (RTm) et les taux de réussite (%Acc) sont plus faibles pour les paires de type *piège* que pour les paires de type *évidence* : les étudiant·es ont des difficultés accrues avec les paires de type *piège*.

La performance calculatoire s'est dégradée entre le prétest et le post-test, et on note que la dégradation est plus importante pour les paires de type *évidence* que pour les paires de type *piège*.

Une présentation des résultats par individu est possible. Elle permettra une analyse plus fine des évolutions par type d'items au seuil de significativité statistique. Cet approfondissement sera amené lors de la communication orale.

5. Discussion

Les résultats obtenus par le groupe expérimental sont meilleurs que ceux du groupe contrôle au moins de manière tendancielle pour le test académique n°2. Néanmoins, l'effectif du groupe expérimental est faible et le groupe contrôle n'a pas passé le test de comparaison de fraction.

Lors de cette étude, nous n'avons pas constaté une amélioration de la performance calculatoire suite aux entraînements. Nous proposons deux interprétations : premièrement, lors du prétest, certain·es étudiant·es n'ont peut-être pas respecté la consigne consistant à réaliser les opérations uniquement mentalement – ils écrivaient des calculs sur une feuille de brouillon ; deuxièmement, il est possible que les étudiant·es se soient senti·es plus concerné·es par le post-test réalisé quelques jours avant un test académique et que leur volonté de réussir ait augmenté leur temps de réponse.

Néanmoins, la dégradation des résultats étant plus importante pour les paires de type *évidence* que pour les paires de type *piège* nous interroge : les étudiant·es ont-ils malgré tout été mieux préparés à réagir face aux paires de type *piège* grâce aux sessions d'entraînement ?

Enfin, nos résultats, observés dans un contexte académique, sont conformes aux observations réalisées antérieurement par Van Hoof et al. (2020) car la performance calculatoire pour les paires de type « piège » est plus faible que pour les paires de type « évidence ». Ce résultat corrobore non seulement la mise en évidence du contrôle inhibiteur faite par Rossi et al. (2019) dans une tâche de comparaison de fractions mais vient aussi l'appuyer en répliquant ses résultats – issus du laboratoire – vers la classe.

Par ailleurs, il faut rester prudent dans l'établissement d'un lien direct entre l'entraînement et les résultats académiques. Dans notre cas, d'autres dispositifs pédagogiques mis en œuvre par l'enseignant·e, voire l'enseignant·e lui-même (« effet prof »), ont pu influencer les résultats obtenus par les étudiant·es.

Enfin, cette étude ouvre plusieurs perspectives. Elle pourrait notamment être reproduite en veillant à mettre en place un groupe contrôle pour les tests de comparaison de fractions et en renforçant le respect des consignes pendant les tests de comparaison de fractions.

En outre, afin d'essayer de mesurer l'effet de l'entraînement, des questions faisant intervenir le contrôle inhibiteur pourraient être posées dans les évaluations passées par les étudiant·es (par exemple, poser des questions relatives au cours sous la forme de questions Vrai/Faux). Une autre piste pour entraîner les étudiant·es consisterait à proposer le quiz dans un format numérique (questionnaire à remplir en ligne et en temps limité) : cette dernière option permettrait d'ouvrir l'étude à un plus large public et en asynchrone.

Remerciements

Les auteurs remercient l'association *J'apprends autrement* (<https://www.japprends-autrement.be/>) pour la mise à disposition de ses outils neurocognitifs et de ses ressources dans le cadre de cette étude. Ce travail a bénéficié du support de la chaire de recherche-action « Innovation pédagogique » de l'Université Paris-Saclay et de l'institut Villebon – *Georges Charpak*.

Références bibliographiques

Borst, G., Aïte, A., & Houdé, O. (2015). Inhibition of misleading heuristics as a core mechanism for typical cognitive development : Evidence from behavioural and brain-imaging

studies. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 57, 21-25.

<https://doi.org/10.1111/dmcn.12688>

OCDE. (2023). *Regards sur l'éducation 2023 : Les indicateurs de l'OCDE*. Éditions OCDE.

<https://doi.org/10.1787/ffc3e63b-fr>

Rossi, S., Vidal, J., Letang, M., Houdé, O. & Borst, G. (2019). *Adolescents and Adults Need Inhibitory Control to Compare Fractions*. <https://doi.org/10.23668/PSYCHARCHIVES.2381>

Vanhoolandt, C. & Plumet, J. (sous presse). Transfert des effets d'un entraînement de fonctions exécutives chez des adolescents en situation scolaire. Le cas de l'étude des nombres rationnels dans les disciplines scientifiques.

Van Hoof, J., Verschaffel, L., De Neys, W. & Van Dooren, W. (2020). Intuitive errors in learners' fraction understanding : A dual-process perspective on the natural number bias.

Memory & Cognition, 48(7), 1171-1180. <https://doi.org/10.3758/s13421-020-01045-1>