Université Paris Nanterre

200 av. de la République
92001 Nanterre Cedex
www.parisnanterre.fr

Membre de l'université Paris Lumières

Ecole doctorale 139 : Connaissance, Langage, Communication

LINP2
Laboratoire Interdisciplinaire en Neurosciences, Physiologie et Psychologie

Mariyem AHMIDA

Les théories implicites de l'intelligence face à l'erreur : comprendre les processus sous-jacents pour améliorer la prise en compte du message d'erreur.

Thèse présentée et soutenue publiquement le ***27 mai 2025***
en vue de l'obtention du doctorat de Psychologie de l'Université Paris Nanterre
sous la direction de Mme Laure Léger (Université Paris Nanterre)

Jury :

Rapporteur·e :	Mme Véronique DRAI-ZERBIB	Professeure des universités, Université Bourgogne Europe
Président du jury :	M. Fabien FENOUILLET	Professeur des universités, Université Paris Nanterre
Directrice :	Mme Laure LEGER	Maîtresse de conférences, HDR, Université Paris Nanterre
Rapporteur·e :	Mme Rebecca SHANKLAND	Professeure des universités, Université Lumière Lyon 2

Remerciements

C'est avec une profonde gratitude que je souhaite exprimer mes remerciements à toutes les personnes qui ont rendu possible l'aboutissement de cette thèse.

Tout d'abord, je tiens à remercier chaleureusement Véronique Drain-Zerbib et Barbara Shankland, qui ont accepté d'examiner ce travail. Leur expertise et leurs précieux commentaires vont grandement contribuer à l'enrichissement de cette recherche.

Un immense merci à Laure Léger, ma directrice de thèse qui m'a accompagnée durant ces années. Son soutien, ses conseils et son expertise ont été des piliers essentiels pour mon travail. Merci de m'avoir guidée dans mes recherches tout en me laissant l'autonomie dont j'avais besoin.

Je suis également très reconnaissante envers Fabien Fenouillet avec qui j'ai eu le privilège de collaborer. Nos échanges ont été d'une richesse inestimable.

Un grand merci à Giovanni de Marco, qui m'a offert l'opportunité unique de me familiariser avec l'EEG. Cette expérience a non seulement élargi mes compétences, mais a également insufflé une nouvelle passion dans mon parcours doctoral.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers les autres doctorants, dont les partages d'expériences et l'écoute attentive ont créé un environnement de soutien et de camaraderie précieux.

Un remerciement tout particulier à Fabien Cerrotti, qui a été présent à mes côtés dans les moments les plus cruciaux. Son aide précieuse en programmation et en statistiques a été déterminante, mais c'est surtout sa confiance en moi, en mes capacités et en mes intuitions qui m'a portée. Merci d'avoir été un soutien dans les moments de doute et de stress.

Mes plus sincères remerciements à ma mère et mon père, pour leur soutien inconditionnel et leur amour constant, même lorsque les subtilités de ma recherche leur échappaient.
Merci à ma deuxième famille pour leur présence bienveillante tout au long de ce parcours.

Merci Camille pour ton soutien. Tu es la preuve qu'avec un peu de ténacité, même les choses les plus difficiles deviennent réalisables.

À Salma, Miriam et Sara, merci d'avoir toujours vu en moi cette lumière intérieure que je pensais éteinte. Votre amitié est un trésor inestimable.

Et enfin, à *My favorite person*, mon partenaire de vie, les mots me manquent pour exprimer ma gratitude. Merci d'avoir été à mes côtés à chaque étape de ce voyage, avec une patience, une bienveillance et un amour infini. Ces années n'ont pas toujours été simples, mais ta présence a rendu chaque épreuve plus douce. Merci de m'avoir toujours rappelée ce qui importait le plus. Ce chapitre de notre vie se referme, mais notre aventure continue.

Résumé

Dans le cadre de la théorie implicite de l'intelligence, les réactions des étudiants face aux erreurs dépendent de leurs croyances sur la malléabilité de leur intelligence. Cette thèse explore ces réactions à travers une approche innovante combinant la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) et les mouvements oculaires, permettant une mesure en temps réel des réactions affectives et attentionnelles face aux feedbacks évaluatifs et informatifs. Deux objectifs principaux ont guidé cette recherche : (1) examiner les réactions des étudiants aux erreurs en fonction de leur théorie implicite de l'intelligence, et (2) évaluer l'efficacité d'interventions brèves pouvant être facilement mises en place dans un contexte d'apprentissage numérique.

Pour atteindre ces objectifs, quatre expériences ont été menées. La première a validé une échelle psychométrique permettant de mesurer les théories implicites de l'intelligence en français. La deuxième a étudié les réactions des étudiants aux erreurs et a confirmé que l'adhésion à une théorie de l'entité de l'intelligence est associée à des réactions inadaptées, entravant un apprentissage efficace à partir des erreurs. La troisième a testé si une brève introduction sur le rôle des erreurs, combinée à la possibilité d'afficher le feedback correctif, pouvait modifier ces réactions. Bien que l'introduction n'ait eu aucun effet significatif, le choix d'afficher le feedback s'est révélé bénéfique, particulièrement pour les étudiants avec une théorie de l'entité. La dernière expérience a évalué une intervention basée sur l'autocompassion sous la forme d'un exercice d'écriture. Les résultats sont prometteurs : cette intervention a eu un effet positif sur les réactions affectives et attentionnelles, suggérant que l'autocompassion pourrait atténuer les effets négatifs d'une vision fixiste de l'intelligence.

Malgré ces résultats encourageants, les interventions n'ont pas permis de démontrer un impact concluant sur l'apprentissage à partir des erreurs. Toutefois, cette thèse apporte des pistes pour mieux comprendre comment les étudiants réagissent aux erreurs et propose des stratégies potentielles pour favoriser des réactions plus adaptées, indépendamment de leur théorie implicite de l'intelligence.

Mots clés : Théories implicites de l'intelligence, VFC, mouvements oculaires, réactions aux erreurs, autocompassion, intervention, apprentissage à partir d'erreurs.

Abstract

Based on the implicit theory of intelligence framework, students' reactions toward errors depend on the nature of their beliefs on the malleability of their intelligence. This thesis explores these reactions through an innovative combination of heart rate variability (HRV) and eye tracking, allowing for real-time measurement of both affective and attentional responses to error-related feedback. The research pursued two main objectives: (1) examining students' reactions to errors based on their implicit theories of intelligence and (2) evaluating the effectiveness of brief, easily implementable interventions in digital learning contexts.

Four experiments were conducted to achieve these goals. The first validated a psychometric scale for measuring implicit theories of intelligence in French. The second examined students' reactions to errors and confirmed that an entity theory of intelligence is linked to maladaptive responses, hindering effective learning from mistakes. The third tested whether a brief introduction to the errors' functionality and the option to view corrective feedback could change these reactions. While the introduction had no significant impact, allowing students to choose whether to see feedback proved beneficial, especially for those with an entity theory of intelligence. The final experiment assessed a self-compassion intervention through a writing exercise. This intervention yielded promising results, positively influencing both affective and attentional responses, suggesting that self-compassion may help alleviate the negative effects of an entity implicit theory of intelligence.

Despite these findings, the interventions did not produce conclusive results regarding improved learning from errors. Nevertheless, this thesis provides valuable insights into how students respond to errors and offers potential strategies to foster more adaptive reactions, regardless of their implicit theory of intelligence.

Keywords: Implicit theories of intelligence, HRV, eye movements, reactions to errors, self-compassion, intervention, learning from errors.

Table des matières

Liste des figures viii

Liste des tableaux ix

Liste des abréviations x

PARTIE 1. CADRE THEORIQUE 1

INTRODUCTION 2

CHAPITRE 1 : L'IMPORTANCE DE L'ERREUR DANS LES APPRENTISSAGES 4

1. QU'EST-CE QUE L'ERREUR ? 4

2. QUEL EST LE ROLE DES ERREURS DANS L'APPRENTISSAGE ? 4

2.1. Le rôle du Feedback 7

3. MODELES DE L'APPRENTISSAGE A PARTIR DE L'ERREUR 8

3.1. Le modèle théorique de Zhang et Fiorella (2023) 8

3.2. Le modèle des processus individuels de Tulis et al. (2016) 11

4. LES REACTIONS FACE A L'ERREUR 15

4.1. Les réactions affectives et motivationnelles 15

4.2. Les réactions liées à l'action 16

CHAPITRE 2 : LES THEORIES IMPLICITES DE L'INTELLIGENCE 19

1. LA THEORIE INCREMENTIELLE VS LA THEORIE DE L'ENTITE 19

2. LES THEORIES IMPLICITES DE L'INTELLIGENCE FACE A L'ERREUR 21

3. LES INTERVENTIONS DITES DE « GROWTH MINDSET ». 24

CHAPITRE 3 : METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DES REACTIONS FACE AUX ERREURS 28

1. MESURE DE LA REACTION AFFECTIVE 28

1.1. Différentes mesures des réactions affectives 29

1.2. Introduction à la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) 30

1.3. La théorie polyvagale 32

1.4. VFC comme indicateur d'arousal. 32

1.5. Considérations méthodologiques 33

1.6. Applications dans l'étude des feedbacks 34

2. MESURE DE LA REACTION ATTENTIONNELLE 35

2.1. Différentes mesures de l'attention 36

2.2. Introduction aux mouvements oculaires 37

2.3. Mouvements oculaires comme reflet de l'attention 38

2.4. Mouvements oculaires en lecture 40

2.5. Considérations méthodologiques 42

2.6. Applications à l'étude des réactions au feedback *44*
Chapitre 4 : Problematique et vue d'ensemble du manuscrit 46
1. Problematique 46
2. Vue d'ensemble du manuscrit 48
PARTIE 2. ETUDES EMPIRIQUES 50
Introduction 51
Chapitre 5 : Mesurer les theories implicites de l'intelligence 52
1. Preambule 52
2. Article 53
3. Synthese 80
Chapitre 6. Theories implicites de l'intelligence et erreurs : mesurer et transformer les reactions des apprenants. 83
1. Preambule 83
2. Article 85
3. Synthese 132
Chapitre 7 : Modifier les reactions des apprenants face a l'erreur : une intervention basee sur l'autocompassion. 134
1. Preambule 134
2. Article 136
3. Synthese 178
PARTIE 3. DISCUSSION ET CONCLUSION 180
Introduction 181
Chapitre 8 : Discussion generale 183
1. Synthese des resultats 183
2. Apports theoriques 185
2.1. Théories implicites de l'intelligence et leurs corrélats. *185*
2.2. Les réactions aux erreurs à travers le prisme des théories implicites de l'intelligence *187*
2.3. Changer positivement les réactions aux erreurs : Une approche sans modification directe des théories implicites de l'intelligence *190*
3. Apports methodologiques 192
3.1. Une échelle des théories implicites de l'intelligence : Une approche centrée sur l'individu *192*
3.2. Étudier les réactions aux erreurs : L'utilisation conjointe des mouvements oculaires et de la variabilité de la fréquence cardiaque *192*
4. Limites et perspectives 194
4.1. Liées aux participants *194*
4.2. Liées aux mesures *195*

4.3. Liées à la manipulation expérimentale et aux interventions *196*
4.4. Liées à l'analyse des données *197*
CHAPITRE 9 : CONCLUSION GENERALE 200
REFLEXION SUR LES THEORIES IMPLICITES DE L'INTELLIGENCE 201
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 204
ANNEXES 218
1. ANNEXE A : MATERIEL DE L'ETUDE 1 219
2. ANNEXE B : MATERIEL DE L'ETUDE 2 222
3. ANNEXE C : MATERIEL DE L'ETUDE 3 240
4. ANNEXE D : ETUDE SUPPLEMENTAIRE SUR LE CLIMAT POSITIF A L'ERREUR 287

Liste des figures

Partie 1 :

Figure 1. Modèle de Zhang et Fiorella (2023) 10
Figure 2. Le modèle de Tulis et al. (2016) 13
Figure 3. Variabilité de la fréquence cardiaque. 31
Figure 4. Positionnement standard des électrodes 34
Figure 5. L'œil humain 38
Figure 6. Trajectoires oculaires mesurées par Yarbus (1967). 40

Partie 2 :

Chapitre 5

Figure 1. Distribution des deux scores entité et incrémentielle. ……..65
Figure 2. Distribution du score global des théories implicites de l'intelligence tournées vers soi……..65
Figure 3. Tracé de progression des valeurs propres……..……66

Chapitre 6

Figure 1. Screenshot from the animation video on the neuroscience of imagination. 95
Figure 2. The different types of feedback and their corresponding Area of interest. 97
Figure 3. RMSSD levels as a function of implicit theory group and measure phase..... 103
Figure 4. AOI hits as a function of implicit theory group and feedback type. 104
Figure 5. AOI hit durations as a function of implicit theory group and feedback type 104
Figure 6. Predicted RMSSD levels between rest and evaluative feedback phase..... 114
Figure 7. AOI hit as a function of Implicit theory group, Introduction, and possibility to choose 116
Figure 8. Predicted AOI hits as a function of Introduction, the possibility to choose, and Implicit theory group. 116
Figure 9. Predicted learning score as a function of implicit theory group, Introduction, and possibility to choose 117

Chapitre 7

Figure 1. Experimental procedure diagram. 148
Figure 2. Example of corrective feedback and its corresponding AOI. 150

Figure 3. Predicted self-compassion scores for the intervention and the control group, pre and post-intervention. 156
Figure 4. Predicted AOI fixations as a function of the Experimental group and Measure time (0: pre-intervention, 1: post-intervention) 158
Figure 5. Predicted AOI fixations as a function of implicit theory score and Measure time (0: pre-intervention, 1: post-intervention) 158
Figure 6. The effect of the three-way interaction on predicted AOI fixations. 159
Figure 7. AOI durations as a function of implicit theories score 160
Figure 8. Predicted RMSSD levels as a function of implicit theory and Measure Period. 161
Figure 9. RMSSD levels between baseline period and feedback for intervention vs control group, and pre and post intervention measures (0: pre-intervention, 1: post-intervention). .. 162
Figure 10. Interaction between Implicit theory of intelligence, experimental group, and Measure Time (0: pre-intervention, 1: post-intervention) for predicted JOL. 164

Liste des tableaux

Partie 1.

Table 1. Protocole de l'intervention Zhao et al. (2023) ……25

Tableau 2. Les différents mouvements oculaires et leurs caractéristiques……...37

Tableau 3. Les différentes métriques de l'analyse des mouvements oculaires…….43

Chapitre 5.

Article

Tableau 1. Statistiques descriptives des différents items de l'échelle……..64

Tableau 2. Résultats de l'analyse exploratoire……..67

Tableau 3. Indicateurs d'ajustement des deux modèles testés……..67

Tableau 4. Corrélations des scores des buts poursuivis par les étudiants et des scores des théories implicites de l'intelligence……..68

Tableau 5. Résultats des 4 régressions linéaires……...70

Synthèse

Tableau 4. Les items de la mesure de l'échelle des théories implicites tournées vers soi……81

Chapitre 6.

Article

Table 1. Means, standard deviations, and correlations with confidence intervals……..101

Table 2. Percentage of incorrect and correct trials per condition (Introduction x Possibility to choose) ...……109

Table 3. Number of participants and the mean implicit theory score per group…….111

Table 4. Means, standard deviations, and correlations with confidence intervals……..112

Table 5. Fixed effects and interactions for RMSSD levels…….113

Chapitre 7.

Article

Table 1. The number and ratios of correct (1) and incorrect (0) responses per experimental group and measure time……..149

Table 2. Group differences in implicit theory and the pre-intervention self-compassion score……152

Table 3. Means, standard deviations, and correlations with confidence intervals……..153

Table 4. Bayesian Zero-Inflated Poisson Model Results……157
Table 5. AOI fixation durations Robust Model Results…….158
Table 6. RMSSD levels Robust Model Results……..160
Table 7. Mean and standard deviation of the learning from errors score……...165

Liste des abréviations

AFC	Analyse Factorielle Confirmatoire
AFE	Analyse Factorielle Exploratoire
AOI	Area Of Interest
ECG	Électrocardiographie
EEG	Électroencéphalographie
ERP	Event-Related Potentials
HF	High Frequency
HRV	Heart Rate Variability
KCR	Knowledge of Correct Response
KR	Knowledge of Result
LF	Low Frequency
pNN50	Percentage of successive NN intervals that differ by more than 50 ms
RMSSD	Root Mean Square of Successive Differences
SDNN	Standard Deviation of NN intervals
VFC	Variabilité de la Fréquence Cardiaque
VLF	Very Low Frequency

Avant-propos

Qu'elles se manifestent dans les détails anodins de notre vie quotidienne, dans les défis de notre parcours académique, les enjeux de notre carrière professionnelle ou dans les turbulences de notre vie intime, les erreurs sont inévitables. Qui, parmi nous, pourrait prétendre n'avoir jamais connu l'expérience de commettre une erreur ?

Les erreurs font partie de notre expérience humaine. Cicéron avait bien dit que « c'est le propre de l'homme de se tromper » mais il ajouta « seul l'insensé persiste dans son erreur ». Le problème ne réside pas dans l'erreur elle-même, mais dans l'incapacité à apprendre de celle-ci. Nous devrions tous considérer les erreurs comme des opportunités d'apprentissage dont la fonction est de nous aider à grandir, mais ce n'est pas si simple. Eskreis-Winkler et Fishbach (2019) attirent notre attention sur le fait qu'apprendre de ses erreurs n'est pas chose facile. Des barrières cognitives et affectives peuvent venir entraver l'apprentissage à partir de l'erreur. Cependant, il semble qu'il soit parfois plus simple pour certains de se remettre de leurs erreurs que pour d'autres. Nelson Mandela, par exemple, avait dit « Je ne perds jamais. Soit je gagne, soit j'apprends. » et nous voulons tous que cela soit aussi facile.
C'est dans le cadre de cette réflexion que le sujet de cette thèse a vu le jour. Ce travail tente de répondre à deux questions : pourquoi est-il plus aisé pour certains d'apprendre de leurs erreurs particulièrement dans un contexte académique où un feedback, dont l'objectif est d'aider à corriger cette erreur, est souvent donné ? Et Pouvons-nous faire en sorte qu'il soit plus accessible pour chacun d'apprendre de ses erreurs ?

Dans la première partie de ce manuscrit, nous exposerons le cadre théorique qui a guidé nos questionnements. Dans la deuxième partie, nous aborderons les différentes expérimentations qui nous ont permis a apporté des éléments de réponses à ces questions. Enfin, la dernière partie nous permet de faire le bilan des réponses apportées et des questions qui restent sans réponse.

Partie 1. Cadre théorique

Introduction

Apprendre, selon Anderson (1990), est le processus par lequel une personne acquiert, modifie et garde en mémoire des informations ou des savoir-faire grâce à l'expérience, les interactions avec l'environnement et le traitement de l'information. Quand le résultat attendu n'est pas atteint, une différence apparaît entre ce qui est produit et ce qui était prévu, une erreur est alors commise.

L'erreur a longtemps été perçue comme un obstacle à l'apprentissage, une preuve d'échec qu'il fallait absolument éviter. Toutefois, les neurosciences cognitives et les recherches en psychologie cognitive ont permis de modifier cette vision très négative de l'erreur. Ces disciplines ont démontré que l'erreur permet d'identifier les lacunes dans la compréhension, de développer des stratégies de résolution de problèmes et de renforcer la mémorisation, modifiant ainsi la vision traditionnellement négative de l'erreur. Comme le soulignent Sander et al. (2018, p. 104), « un cerveau performant est un cerveau qui commet des erreurs ». L'erreur est désormais considérée comme une étape inévitable et bénéfique dans l'apprentissage, une occasion de se développer et d'acquérir de nouvelles compétences. Bien que cette conception de l'erreur comme vecteur d'apprentissage gagne du terrain au sein de la communauté scientifique et trouve progressivement sa place dans les instances de l'éducation nationale (ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse, 2018), elle peine encore à convaincre l'ensemble des étudiants. Cette thèse se penche sur la réaction des étudiants lorsqu'ils sont confrontés à une erreur dans leur processus d'apprentissage. Plus précisément, les croyances des étudiants au sujet de l'origine innée ou acquise de leur intelligence ont servi de point de départ afin de tenter de comprendre pourquoi certains d'entre eux réagissent moins bien face aux erreurs et retiennent moins des feedbacks qui suivent l'erreur. Les recherches effectuées dans le cadre de cette thèse ont également cherché des moyens d'aider les étudiants à apprendre de leurs erreurs.

L'objectif de cette première partie est de présenter le cadre théorique dans lequel s'inscrit cette thèse. Nous commencerons en présentant les raisons pour lesquelles il est important d'apprendre de ses erreurs, un apprentissage qui ne peut se faire que si un feedback est fourni. Nous présenterons par la suite certains modèles expliquant comment on peut apprendre à partir des erreurs. Nous aborderons ensuite les présupposés implicites de

l'intelligence qui servent de fondement théorique pour expliquer, en partie, la manière dont les apprenants réagissent à l'erreur. Après avoir exposé les concepts clés sous-jacents aux recherches menées dans cette thèse, nous avons jugé utile de revenir sur certains outils méthodologiques utilisés dans ces recherches. Nous allons donc aborder la méthode de l'oculométrie cognitive qui a permis d'examiner l'attention portée sur les feedbacks suivant une erreur à partir de l'enregistrement et l'analyse de mouvements oculaires, ainsi que l'utilisation de la variabilité cardiaque comme marqueur de stress associé à cette erreur.

Chapitre 1 : L'importance de l'erreur dans les apprentissages

1. Qu'est-ce que l'erreur ?

Bien que les erreurs soient inévitables dans plusieurs domaines de la vie, elles se manifestent de façon plus apparente dans certains contextes, comme le contexte académique (Steuer & Dresel, 2015). Une erreur est commise lorsque ce qui est produit par les apprenants, lors de la réalisation d'un exercice par exemple, diffère de ce qui est attendu (Sander et al., 2018). C'est une déviation de la norme attendue, observée pendant l'exécution d'une action orientée vers un but (Dresel et al., 2013). Cette norme peut être objective, le résultat d'un problème mathématique, ou subjective, définie par l'individu lui-même ou par une tierce personne, un enseignant par exemple (Grassinger & Dresel, 2017). Échouer peut être considéré comme la conséquence d'une erreur commise (Zhao & Olivera, 2006), même si l'erreur peut ne pas toujours être interprétée comme un échec (Tulis et al., 2016). L'échec est défini comme l'incapacité à atteindre un résultat souhaité (Simpson et al., 2020). Cette définition implique que, même si les termes « erreur » et « échec » peuvent différer, ils représentent tous les deux un écart par rapport à un objectif choisi ou à une norme établie durant le processus d'apprentissage (Dresel et al., 2013). En fonction de cette similitude, les erreurs et les échecs peuvent provoquer des réactions motivationnelles et émotionnelles comparables. De ce fait, dans ce travail de thèse, les conclusions tirées des études portant sur les erreurs et les échecs ont été prises en compte.

2. Quel est le rôle des erreurs dans l'apprentissage ?

La perception de l'erreur a évolué en raison des résultats de plusieurs études montrant que commettre des erreurs peut être bénéfique pour l'apprentissage. La plupart de ses études se sont basées sur le paradigme de pré-test (Mera et al., 2022) qui consiste à tester les participants sur du contenu inconnu avant la période d'apprentissage. Ce paradigme permet de générer plusieurs réponses incorrectes donc offre plus d'opportunités pour se corriger. L'une des premières études à avoir testé l'effet des erreurs sur les apprentissages est celle de

Richland et al. (2009). Dans cette étude, les participants devaient lire un texte et répondre à des questions de compréhension. Ils étaient soit testés avant de lire le texte ou bénéficiaient de plus de temps de lecture. Les résultats de cette étude ont montré que les performances des participants étaient meilleures dans la condition du prétest que dans celle de la lecture prolongée, et ce, même si les réponses au prétest étaient incorrectes. Cette fois-ci en utilisant des pairs de mots, Huelser & Metcalfe (2012) ont pu démontrer l'effet bénéfique des erreurs. Comparativement au groupe 'lecture', où les participants lisaient simplement les paires de mots, le groupe 'génération d'erreurs', qui devait deviner le mot associé avant de recevoir la bonne réponse, a obtenu de meilleurs résultats au test final. Ainsi, les auteurs ont conclu que les réponses erronées facilitaient l'apprentissage de la réponse correcte. Cependant, ils soulignent l'importance de la proximité sémantique entre l'erreur générée et la réponse correcte. Dans la même lignée de recherches, Potts et ses collaborateurs ont mené plusieurs expériences pour étudier l'effet des erreurs sur l'apprentissage. Potts et Shanks (2014) ont comparé trois conditions, la génération d'erreurs, choix multiples et lecture, pour l'apprentissage de mots anglais inconnus ou des traductions de vocabulaire d'une langue étrangère. Dans la condition de générations d'erreurs les participants devaient essayer de deviner la réponse avant de recevoir la bonne réponse. Par exemple, *"chat" → "?????"* en japonais, et ils devaient proposer une traduction, même s'ils ne la connaissaient pas. Ensuite, ils recevaient la bonne réponse ("neko"). Dans la condition de simple lecture, les participants recevaient directement les associations correctes sans avoir à deviner. Enfin, dans la condition choix multiples, les participants devaient choisir parmi plusieurs réponses avant de voir la bonne réponse. Par exemple, *"chat" → (a) inu, (b) saru, (c) neko*, et ils devaient choisir une option.

Conformément aux résultats des études présentées ci-dessus, la condition « génération d'erreurs » a permis une meilleure rétention des bonnes réponses que la condition « lecture ». La condition « choix multiples » était aussi meilleure que la lecture passive, même lorsque la réponse choisie était incorrecte. Choisir une réponse, même incorrecte, n'est donc pas nuisible à l'apprentissage. Au contraire, le processus actif de choix et de correction permet une meilleure mémorisation des bonnes réponses comparée à une simple lecture passive de celles-ci. Potts et al. (2019) ont mené quatre expériences pour essayer de comprendre les mécanismes sous-jacents de cet effet bénéfique des erreurs. La 1re expérience visait à déterminer si les avantages de la génération d'erreur sur la mémoire proviennent de l'activation d'indices de récupération ou de la curiosité et l'intérêt suscité par

les feedbacks d'erreur. Les participants étudiaient des pairs de mots sous trois conditions : lecture, génération ou lecture modifiée où les participants devaient d'abord lire les deux mots associés (ex. *chat – neko*), mais également taper la réponse qu'ils auraient devinée s'ils avaient dû en proposer une. La condition « génération » a conduit à de meilleures performances comparée aux deux autres conditions suggérant que le manque d'information et la curiosité qui en découle, plutôt que la simple activation d'indices, contribue au bénéfice observé de la génération d'erreur. La 2e expérience avait comme objectif de déterminer si le bénéfice en termes de mémorisation est dû à un meilleur encodage du feedback. Les participants étudiaient les pairs de mots soit en condition génération, où les participants produisaient une réponse, ou en condition lecture. Les tests finaux étaient soit des QCM avec les pairs de mots (indice – cible) ou un test dans lequel les participants devaient choisir parmi quatre mots en anglais celui qu'ils ont étudié (la cible). Les participants se sont souvenus de plus de cibles dans la condition génération, même en l'absence d'indices, ce qui confirme l'idée que la génération d'erreurs améliore l'encodage de la bonne réponse. L'objectif de la 3e expérience était de tester si générer une réponse augmente la curiosité d'apprendre la bonne réponse. Les participants évaluaient leur curiosité à connaître la signification avant de voir la réponse ou après avoir deviné la réponse. Le degré de curiosité était plus élevé après avoir essayé de deviner la bonne réponse que dans l'absence de génération ce qui confirme l'hypothèse que la génération d'erreurs augmente la curiosité. La dernière expérience a aussi testé si la génération des erreurs augmente la curiosité. La curiosité était mesurée avant ou après la tentative de génération. Les résultats ont montré que la curiosité était plus élevée après la génération des réponses, mais les performances étaient similaires entre les conditions. Évaluer sa curiosité après avoir deviné reflète le niveau de curiosité juste avant de voir la réponse correcte. Évaluer sa curiosité avant de deviner ne tient pas compte de l'augmentation de la curiosité causée par l'effort de deviner. Mais dans les deux cas, la curiosité est élevée au moment de l'apprentissage de la bonne réponse, ce qui explique les résultats similaires au test final, confirmant que la curiosité contribue à un meilleur encodage.

Une erreur survient lorsqu'il existe un déficit de connaissances, c'est-à-dire un écart entre ce qu'un individu sait et ce qu'il devrait savoir. Les résultats des quatre expériences de Potts et al. (2019) soulignent l'importance de cette disparité dans les connaissances. En effet, elle stimule la curiosité, l'intérêt et la motivation à apprendre chez les apprenants, qui sont incités à combler ce manque. Ainsi, les apprenants qui commettent une erreur sont plus attentifs à la réponse correcte, ce qui se traduit par une meilleure mémorisation de celle-ci.

Dans des études plus proches des traditions du contexte éducatif où le matériel est étudié avant les tests, les bienfaits des erreurs ont aussi été mis en évidence. Par exemple, Kornell et al. (2015) ont demandé à leurs participants d'étudier des paires de mots avant de passer à la phase d'entraînement où ils devaient soit recopier les paires de mots ou les compléter par le mot manquant. Tenter de récupérer les paires en mémoire a permis d'améliorer considérablement l'apprentissage des paires de mots, notamment quand les tentatives sont erronées. En effet, les auteurs ont indiqué que les tentatives correctes ne renforçaient pas spécialement le processus d'apprentissage, comme c'était le cas dans leur étude, contrairement aux erreurs qui ont permis de potentialiser l'apprentissage des paires de mots. Cet avantage en faveur des erreurs peut s'expliquer par le fait que les erreurs servent d'indices secondaires pour accéder plus rapidement à la bonne réponse en mémoire lors des tests finaux (Leonard et al., 2023).

Ainsi, les erreurs ne suscitent pas seulement la curiosité et l'intérêt pour les réponses correctes, ce qui favorise un meilleur encodage, mais fournissent également des indices supplémentaires qui renforcent la consolidation mnésique de la bonne réponse, à condition qu'un retour sur cette erreur soit fourni.

2.1. Le rôle du Feedback

L'effet bénéfique des erreurs observé dans les études mentionnées précédemment, à savoir une meilleure mémorisation des réponses correctes, ne peut être observé, selon Metcalfe (2017), que si un feedback est fourni. Donner un feedback permet non seulement de mettre en évidence l'erreur en signalant qu'il y a bien une différence entre la réponse donnée et la réponse attendue, mais peut aussi fournir des informations utiles pour corriger l'erreur commise (Shute, 2008).

Shute (2008) distingue plusieurs types de feedback en fonction de leur niveau de complexité :

- Connaissance des résultats (Knowledge of Results, KR) : il indique si la réponse est correcte ou incorrecte. La forme la plus courante est « correcte/incorrecte ».
- Connaissance de la réponse correcte (Knowledge of Correct Response, KCR) : il fournit la réponse correcte sans aucune autre information.
- Feedback élaboré (Elaborative Feedback, EF) : il fournit des informations supplémentaires sur la réponse correcte et explique pourquoi elle est considérée comme telle.

Si nous prenons l'exemple de la question suivante : « Qu'est-ce que l'effet Doppler ? »
Le feedback de connaissance de la réponse correcte serait : « C'est la variation de la fréquence d'une onde (sonore ou lumineuse) perçue par un observateur en mouvement par rapport à la source de cette onde ». Si nous voulons en plus de ce feedback fournir un feedback élaboré, une proposition serait : « Imaginez une ambulance qui s'approche de vous en faisant retentir sa sirène. Vous remarquerez que le son de la sirène vous semble plus aigu (fréquence plus élevée) lorsque l'ambulance se rapproche, et plus grave (fréquence plus basse) lorsqu'elle s'éloigne. C'est l'effet Doppler en action. »

Selon Metcalfe (2017), pour que les erreurs soient constructives, il ne suffit pas de signaler que la réponse est incorrecte (feedback KR). Le feedback doit au moins inclure la réponse correcte. Mertens et al. (2022) ont effectivement démontré dans leur méta-analyse que les feedbacks KCR et EF sont plus efficaces que le feedback KR, puisqu'ils sont tous les deux plus bénéfiques non seulement pour les performances de rappel, mais aussi pour les performances de transfert.

Le changement observé de la manière dont sont traitées les erreurs dans le contexte académique se justifie par les recherches qui se sont penchées sur la question. Celles-ci ont montré, contrairement aux principes behavioristes (Blain-Joguet, 2012), les effets bénéfiques des erreurs en termes d'amélioration des performances et de mémorisation des bonnes réponses. La question du comment se pose alors.

3. Modèles de l'apprentissage à partir de l'erreur

Différents modèles tentent d'expliquer l'apprentissage à partir de l'erreur. Nous avons choisi de présenter deux modèles qui se révèlent particulièrement pertinents pour interpréter les résultats des expériences menées dans le cadre de cette thèse.

3.1. Le modèle théorique de Zhang et Fiorella (2023)

Zhang et Fiorella (2023) se sont appuyés sur les travaux portant sur l'apprentissage par l'erreur pour développer un modèle théorique du processus d'apprentissage à partir d'erreurs commises spontanément. La synthèse de ces travaux a abouti à deux mécanismes fondamentaux impliqués dans l'apprentissage à partir de l'erreur :

- **La génération de l'erreur** qui fournit l'occasion d'activer et de réorganiser les connaissances antérieures, même si la réponse générée est incorrecte, et prépare les apprenants à l'encodage et l'intégration de nouvelles informations. Par exemple, l'étude de Grimaldi & Karpicke (2012) a utilisé la tâche d'apprentissage de pairs de mots (indice-cible) soit en condition pré-test ou en condition lecture. Les résultats ont montré qu'essayer de générer une réponse a permis d'améliorer l'apprentissage des mots cibles, mais uniquement quand les tentatives étaient liées aux mots cibles. Selon ces auteurs, quand les participants essaient de trouver la bonne réponse, plusieurs mots candidats sont activés. L'encodage des mots liés à ces candidats serait amélioré du fait de cette activation. Par conséquent l'activation de connaissances antérieures lors de la génération d'erreurs permet un meilleur encodage de la nouvelle information.
- **La détection de l'erreur** signale une lacune en matière de connaissances ce qui permet de mobiliser les ressources métacognitives, l'attention et la motivation des apprenants et de les orienter vers l'apprentissage. L'étude de Loibl et Rummel (2014) est l'une des recherches qui a permis de mettre en évidence que la prise de conscience des lacunes peut améliorer l'apprentissage à partir des erreurs. Les auteurs ont mené deux expériences dans lesquelles les participants devaient soit résoudre des problèmes avant de recevoir l'instruction, soit recevoir l'instruction en premier. Les résultats de la 1re expérience ont montré que comparer les solutions erronées à la solution correcte améliorait significativement l'apprentissage. La 2e expérience est celle qui a permis de dégager plus spécifiquement l'effet de la prise de conscience des lacunes après les erreurs. Les participants, ayant d'abord tenté de résoudre un problème, ont signalé une plus grande prise de conscience de leurs lacunes et une curiosité accrue, qui ont diminué après l'instruction, indiquant que la confrontation à une difficulté peut renforcer la motivation à apprendre. Des résultats similaires ont été trouvés dans l'article de Potts et al. (2019), présenté dans la section 2 de ce chapitre. Cet article montre que les erreurs suscitent de la curiosité et mobilisent l'attention pour une meilleure mémorisation des informations qui suivent la détection d'une erreur. Ainsi, être conscient des lacunes de connaissances, qui sont mises en lumière par la détection d'une erreur, peut accroitre l'engagement à l'égard du feedback fourni à la suite d'une erreur.

Le modèle de Zhang et Fiorella (2023), présenté dans la figure 1 (*theorical model of learning from self-generated errors*), intègre ces deux mécanismes et définit deux phases

dont est constitué le processus de l'apprentissage à partir de l'erreur : la phase de génération d'erreurs (*Generating Errors, GE*) et la phase de détection et de correction des erreurs (*Detecting and Correcting Errors, DCE*).

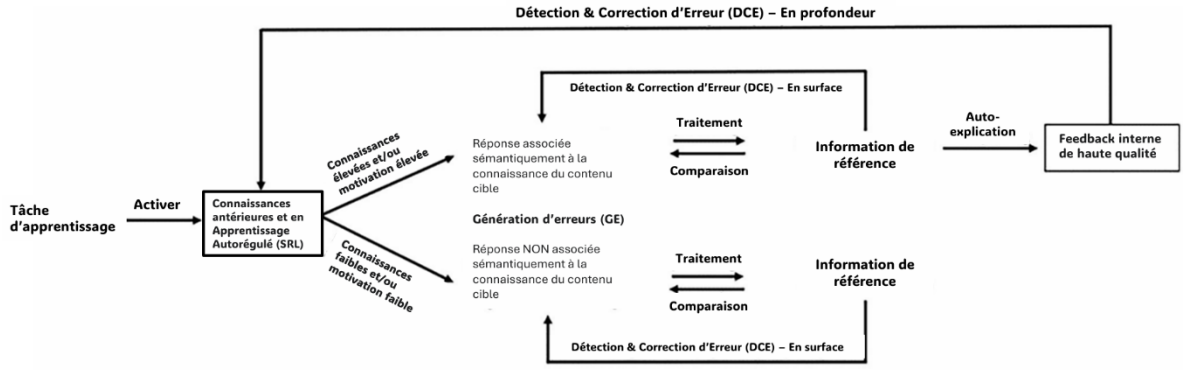


Figure 1. Modèle théorique de l'apprentissage à partir de l'erreur de Zhang et Fiorella (2023)

Dans la phase de génération d'erreurs, les apprenants activent leurs connaissances préalables pour essayer de répondre à une tâche d'apprentissage. Selon si les apprenants ont bénéficié d'une période d'apprentissage initiale (comme dans l'étude de Kornell et al., 2015 où ils étudiaient les paires de mots avant entraînement) ou non (comme dans les études utilisant un paradigme de pré-test), les réponses générées peuvent être sémantiquement liées ou non liées à la réponse attendue. En d'autres mots, plus les apprenants ont de connaissances sur un sujet, plus ils ont de chance de donner des réponses sémantiquement liées. Cependant, la nature de la réponse donnée, d'après Zhang et Fiorella (2023), ne dépend pas uniquement des connaissances sur le contenu, mais va dépendre également des connaissances sur l'autorégulation des apprentissages (*self-regulated learning strategies, SRL*) qui regroupent les buts suivis par les apprenants, leurs croyances, leur motivation, leurs émotions, leurs stratégies d'apprentissage ainsi que les connaissances métacognitives. Par exemple, un apprenant, qui est motivé pour effectuer la tâche, va essayer d'utiliser toutes ses connaissances antérieures pour donner une réponse pertinente à la tâche. Au contraire, un apprenant moins motivé face à une question difficile va avoir tendance à répondre au hasard sans forcément fournir d'efforts.

Les connaissances sur l'autorégulation des apprentissages n'impactent pas seulement la phase de génération, mais aussi la phase de détection et de correction des erreurs. Cette deuxième phase se déclenche quand l'apprenant a accès à la référence subjective ou objective (la réponse attendue ou l'objectif à atteindre). Dans leur modèle Zhang et Fiorella (2023) s'intéressent uniquement à la référence objective fournie par un agent externe (enseignant,

ordinateur, application, etc.). Dans le cas où la réponse donnée par l'apprenant est sémantiquement liée au contenu, elle va permettre, à minima, à l'apprenant de prendre conscience de son erreur et de mettre à jour sa réponse initiale ce qui va permettre de corriger l'erreur commise. Une modification plus approfondie des connaissances antérieures de l'apprenant est aussi possible dans le cas où il s'engage dans une analyse plus poussée de l'erreur qui nécessite la création d'un feedback interne de qualité basé sur l'auto-explication — pourquoi ma réponse est considérée comme incorrecte ? — lors du traitement de la réponse attendue. Dans le cas où la réponse initiale n'est pas sémantiquement liée, aucune auto-explication n'est possible, mais se trouver face à la réponse attendue va quand même déclencher une prise de conscience qui peut aboutir à une correction de l'erreur commise. Pour favoriser l'apprentissage par l'erreur, il est crucial que la phase de production incite les apprenants à émettre des réponses qui soient sémantiquement liées aux objectifs de la tâche d'apprentissage. Un apprentissage du contenu, avant une phase d'entraînement par test, peut aussi favoriser la génération d'erreurs sémantiquement liées. De plus, la phase de détection et de correction doit encourager un retour d'information interne découlant de l'analyse de la réponse attendue d'où l'importance de fournir au moins la bonne réponse (Metcalfe, 2017). Cependant, l'issue des deux phases, de génération et de détection/correction ne dépend pas uniquement du contenu, mais aussi des connaissances d'autorégulation des apprentissages.

Le modèle de Tulis et al. (2016) permet de mieux comprendre comment ces différences interindividuelles et contextuelles peuvent influencer le processus d'apprentissage à partir de l'erreur.

3.2. Le modèle des processus individuels de Tulis et al. (2016)

Le modèle de Tulis et al. (2016) prend en considération les caractéristiques individuelles et les contraintes du contexte qui influencent l'apprentissage à partir de l'erreur.

Tulis et al. (2016) se base principalement sur quatre perspectives théoriques :

- **Les théories du stress et du coping** (Lazarus and Folkman, 1984 ; Lazarus, 1991) qui postulent que les erreurs sont évaluées par le biais d'une évaluation primaire (est-ce nuisible ou bénéfique ?) et d'une évaluation secondaire (ai-je les ressources nécessaires pour y faire face ?). Ces évaluations déterminent les réponses

émotionnelles et motivationnelles des apprenants, influençant la persistance dans la tâche ou le désengagement.

- **La théorie de l'attribution et les buts d'accomplissement** (Dweck & Leggett, 1988; Elliot & Dweck, 1988; Weiner, 1986) qui suggèrent que les apprenants qui poursuivent un but de maîtrise perçoivent les erreurs comme une opportunité d'apprentissage tandis que les apprenants qui poursuivent des buts d'évitement de performance se sentent menacés face aux erreurs conduisant à des émotions négatives et une faible motivation. En outre, la théorie de l'attribution indique que selon les causes perçues de l'erreur, manque d'effort ou d'habilité, impactent les réactions émotionnelles face aux erreurs.
- **Les connaissances négatives et l'apprentissage par l'impasse :** Les erreurs peuvent conduire à des connaissances négatives (ce qui ne fonctionne pas) ce qui permet d'éviter les erreurs futures (Oser & Spychiger, 2005). En plus, L'apprentissage par l'impasse suggère que rencontrer des obstacles, comme les erreurs, déclenche une réflexion plus approfondie et la résolution de problèmes (Van Lehn, 1988).
- **Les modèles de l'apprentissage auto-régulé** qui expliquent comment les apprenants gèrent leurs émotions et leur motivation après les erreurs. Par exemple, le modèle de traitement double (Boekaerts, 2006) décrit deux voies : la voie de la maîtrise et de la croissance qui se concentre sur le développement des compétences et l'analyse des erreurs et la voie du bien-être qui se concentre sur la protection émotionnelle, évitant potentiellement l'engagement dans une tâche jugée difficile.

Les résultats et prédictions de ces différentes théories ont été intégrés dans un seul modèle (*Model of individual processes,* figure 2) qui permet d'expliquer l'influence des différences individuelles et du contexte et permet de décrire les processus séquentiels déclenchés par l'erreur.

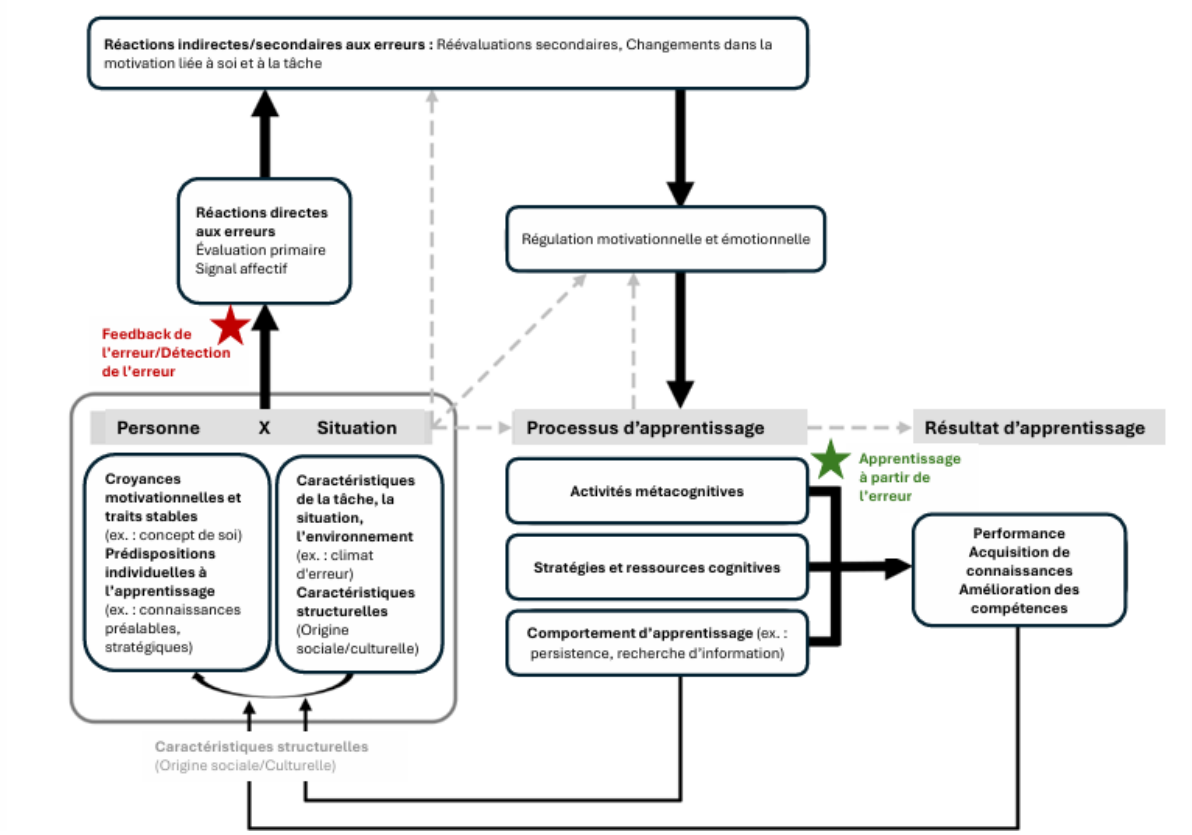


Figure 2. Le modèle des processus individuels de l'apprentissage à partir de l'erreur de Tulis et al. (2016)

Selon ce modèle, une fois l'erreur détectée, celle-ci enclenche des processus séquentiels, allant des évaluations primaires à l'apprentissage à partir de l'erreur. L'erreur déclenche une évaluation primaire qui est une conséquence directe de la prise de conscience de celle-ci. Cette première évaluation concerne la pertinence du signal d'erreur et va impacter l'état émotionnel de base de l'apprenant. Les premières émotions ressenties peuvent varier allant de la colère ou la frustration à la surprise. Quelle que soit l'émotion ressentie, un changement dans le niveau d'activation (*arousal*) sera observé. L'évaluation primaire est suivie par l'évaluation secondaire, une conséquence indirecte de l'erreur. L'évaluation secondaire estime nos capacités à faire face à la situation. Cette évaluation concerne non seulement les ressources personnelles, mais aussi la contrôlabilité de la situation et les attributions causales (causes internes ou externes). Le résultat de cette évaluation peut soit moduler l'émotion initialement ressentie ou l'exaspérer en plus d'avoir un effet sur la motivation. Par exemple, une fois qu'un apprenant a pris conscience de son erreur, celle-ci va engendrer une première évaluation qui porte sur la pertinence de cette erreur dans le contexte de son apprentissage. Cette évaluation le conduit à ressentir une émotion de base, en l'occurrence de la frustration. L'apprenant va ensuite évaluer ses capacités à faire face à cette situation. Il va se poser des

questions du type : "Suis-je capable d'améliorer mes compétences dans ce domaine ?". Si l'apprenant a peu confiance en ses compétences. Cette faible estime de soi va renforcer sa frustration initiale. Si l'apprenant attribue son erreur à un manque de capacité personnelle qui est stable ("Je ne suis pas doué pour ça"), cela va exacerber sa frustration, car il pense qu'il n'a pas les capacités nécessaires pour changer l'issue de cette situation. Dans ces deux cas, la motivation de l'apprenant à apprendre va être négativement impactée.

L'effet des évaluations primaires et secondaires sur les émotions et la motivation des apprenants vont ensuite enclencher le processus de régulation émotionnelle et motivationnelle. Selon Tulis et al. (2016), en fonction des caractéristiques des individus, les apprenants vont avoir plus ou moins besoin de stratégies de régulation pour maintenir leur engagement dans la tâche. Des stratégies comme la réévaluation cognitive ou des stratégies centrées sur les émotions, qui permettent de protéger l'estime de soi de l'individu, peuvent être mises en place à cette étape. Toutefois, les stratégies utilisées par les apprenants ne sont pas toujours adaptées et peuvent entraver l'apprentissage à partir de l'erreur. Si on reprend notre exemple, l'apprenant, qui juge ses capacités insuffisantes et immuables, pourrait avoir recours à des stratégies telles que la rumination ou la distraction et expérimenter du désespoir face à la situation. L'issue de la régulation émotionnelle et motivationnelle, selon si celle-ci est adaptée ou non, va impacter le processus d'apprentissage. Comme pour la phase de correction de l'erreur du modèle de Zhang et Fiorella (2023), ce processus exige de l'apprenant une réflexion et une auto-explication basée sur les activités métacognitives et la mise en place de stratégies comportementales pour corriger l'erreur. Celles-ci dépendent du résultat de la régulation émotionnelle et motivationnelle (persistance ou non dans la tâche, attention portée à la tâche ou désengagement, etc.).

Tulis et al. (2016) souligne que les caractéristiques individuelles comme les croyances motivationnelles et les caractéristiques du contexte interviennent dans chaque étape du modèle. Concernant les caractéristiques contextuelles, Soncini et al. (2022) ont fait passer des questionnaires à des élèves de collège en classe de mathématiques. Le modèle issu des analyses des données a démontré que percevoir que le climat de la classe comme étant un climat positif à l'erreur[1] est positivement associé à de meilleures notes en mathématiques. Ce lien entre les notes et le climat positif à l'erreur est médié par des réactions positives face à

[1] Dans un climat positif à l'erreur la perception, l'évaluation et l'utilisation des erreurs sont perçues comme des éléments intégraux du processus d'apprentissage dans le contexte social d'apprentissage de la classe (Steuer et al., 2013).

l'erreur que ça soit au niveau de l'affect ou au niveau des stratégies mises en place pour remédier à celle-ci.

Dans ce travail de thèse, nous nous sommes intéressés principalement aux caractéristiques individuelles qui peuvent influencer les réactions face à l'erreur et par conséquent l'apprentissage à partir de celle-ci. Ces réactions peuvent être d'ordre affectif ou comportemental. Plusieurs études ont montré le lien entre les caractéristiques individuelles et ces réactions comme développé ci-dessous.

4. Les réactions face à l'erreur

La manière dont les apprenants réagissent face à l'erreur détermine s'ils vont bénéficier de leurs erreurs. Les réactions peuvent être soit adaptées et donc permettre un apprentissage à partir de l'erreur ou mal adaptées et entraver cet apprentissage (Dresel et al., 2013 ; Tulis et al., 2016). L'erreur suscite deux types de réactions : les réactions affectives et motivationnelles, et les réactions liées à l'action (Dresel et al. 2013).

4.1. Les réactions affectives et motivationnelles

Les réactions affectives sont les émotions et sentiments ressentis face à une erreur qui peuvent être soit positifs ou négatifs, tandis que les réactions motivationnelles concernent l'impact de l'erreur sur la motivation à poursuivre l'activité ou à apprendre, qui peut être maintenue ou diminuée. Dresel et al. (2013, p. 256) définissent les réactions affectives et motivationnelles adaptées, comme les réactions qui permettent un maintien du plaisir et la motivation d'apprendre, ainsi que la régulation des émotions négatives et les cognitions associées (ex : discours interne négatif, dévalorisation de soi). Dans le cas des réactions affectives et motivationnelles adaptées, la régulation émotionnelle et motivationnelle va permettre de maintenir l'engagement à la tâche d'apprentissage. Dans le cas où la régulation est mal adaptée, se distraire, par exemple, la motivation à poursuivre la tâche des apprenants ainsi que leur degré d'engagement dans la tâche vont diminuer. Grassinger et al. (2018) ont en effet montré que des réactions affectives et motivationnelles adaptées peuvent renforcer la motivation et encourager les apprenants à adopter des stratégies d'adaptation pour apprendre de leurs erreurs. Des états émotionnels négatifs, comme le stress ou la frustration, peuvent détériorer la motivation et mener vers des comportements qui nuisent à l'apprentissage (Zhao, 2011).

Plusieurs études ont montré l'effet des caractéristiques individuelles sur les réactions affectives et motivationnelles. L'attitude des apprenants à l'égard de l'apprentissage à partir d'erreurs était significativement associée à leurs réactions émotionnelles face à l'échec (Tulis & Ainley, 2011). Plus les apprenants avaient une attitude positive à l'égard de l'erreur, plus ils continuaient à éprouver de l'intérêt, de la joie et même de la fierté quand ils se trouvaient face à une tâche non réussie. Les convictions profondes selon lesquelles les erreurs sont des occasions d'apprentissage et de développement personnel, connues sous l'appellation croyances sur l'erreur, se sont aussi révélées être des prédicteurs fiables des réactions affectives et motivationnelles appropriées à l'apprentissage à partir de l'erreur (Tulis et al., 2018).

En plus des croyances sur l'utilité des erreurs, les croyances sur la malléabilité des habilités et l'orientation des buts se sont avérées être associées aux réactions affectives et motivationnelles adaptées (Dresel et al., 2014). Les buts d'approche de maîtrise, qui se caractérisent par la volonté d'acquérir de nouvelles compétences et de progresser, prédisent des réactions affectives et motivationnelles considérées comme adaptées (Tulis et al., 2018) tandis que le but d'évitement de performance, axé sur la volonté d'éviter de paraître incompétent ou de montrer ses lacunes aux autres, prédit des réactions affectives et motivationnelles mal adaptées (Senko, 2016).

4.2. Les réactions liées à l'action

Les réactions liées à l'action regroupent les comportements adoptés face à l'erreur. Elles peuvent être des comportements de réparation de l'erreur commise comme chercher l'information, modifier la stratégie ou demander de l'aide, ou des comportements d'évitement pour ne pas se confronter à l'erreur, abandonner la tâche, par exemple. Dresel et al. (2013, p. 256) définissent les réactions adaptées liées à l'action comme étant les processus d'autorégulation des apprentissages qui interviennent dans le contexte d'une erreur. Ces processus incluent l'analyse de l'erreur commise, la mise en place d'actions appropriées pour corriger l'erreur et la réalisation de celles-ci. En plus de leurs résultats sur le climat positif à l'erreur, les travaux de Soncini et al. (2022) ont aussi démontré que les réactions liées à l'action sont directement liées aux performances académiques et qu'elles sont influencées par les réactions affectives et motivationnelles. Des résultats équivalents ont été obtenus par Grassinger et al. (2018) dans leur étude portant sur un ensemble de données longitudinales

d'élèves du collège. Leurs résultats ont confirmé que les élèves qui avaient des réactions affectives et motivationnelles adaptées aux erreurs, ont aussi fait preuve de réactions liées à l'action adaptées, ce qui ensuite a eu un impact sur leurs résultats académiques.

Ainsi, avoir des réactions affectives et motivationnelles adaptées prédit des réactions liées à l'action qui seront adaptées à l'apprentissage à partir de l'erreur. À l'inverse, des réactions affectives et motivationnelles mal adaptées augmentent la probabilité que l'erreur génère des réactions liées à l'action mal adaptées qui nuiront à l'apprentissage à partir de l'erreur.

Les réactions liées à l'action ne dépendent pas uniquement des réactions affectives et motivationnelles, mais sont aussi influencées par les caractéristiques de l'individu. Les buts d'accomplissement impactent ces réactions et le but d'approche de maîtrise a été identifié comme prédicteur de l'adaptabilité de celles-ci (Grassinger & Dresel, 2017 ; Tulis et al., 2018). Des croyances adaptées sur l'erreur prédisent aussi des réactions liées à l'action qui sont adaptées (Tulis et al., 2018). En plus des tendances motivationnelles et des croyances, les attributions causales vont aussi avoir un effet sur les réactions liées à l'action (Grassinger & Dresel, 2017). Quand la cause de l'erreur est attribuée à une cause interne, donc à des facteurs propres à la personne, l'apprenant sera plus enclin à s'engager dans des actions qui vont mener à l'apprentissage à partir de l'erreur. Quand la cause est attribuée à des causes stables, perçues comme permanentes et inchangeables, les réactions liées à l'erreur vont être dans ce cas mal adaptées.

Comme il a été évoqué dans la partie 2, de nombreuses études ont montré l'effet positif des erreurs sur l'apprentissage, mais tous les apprenants ne semblent pas en profiter. Une raison possible réside dans les différences individuelles des apprenants qui ont un impact sur le processus d'apprentissage à partir d'erreurs, telle que postulée par les deux modèles de Fiorella et Zhang (2022) et Tulis et al. (2016), et qui exercent une influence sur les réactions affectives, motivationnelles et liées à l'action. Dans cette thèse, nous nous sommes

particulièrement intéressés aux différentes conceptions qu'ont les apprenants sur la nature de leur intelligence et comment celles-ci peuvent impacter les réactions face à l'erreur.

Chapitre 1. Importance des erreurs – Points clés

- Les erreurs communiquent une information sur une divergence entre ce qui est appris et ce qui reste à apprendre.
- Les erreurs permettent une meilleure mémorisation de la bonne réponse.
- Les erreurs déclenchent un processus qui génèrent des réactions affectives, motivationnelles et liées à l'action qui peuvent être soit adaptées ou mal adaptées.
- Les différences individuelles peuvent influencer positivement ou négativement ces réactions.

Chapitre 2 : Les théories implicites de l'intelligence

Pourquoi, face à une même situation, certains vont essayer de surmonter les difficultés et essayer d'améliorer leurs compétences, tandis que d'autres ne le feront pas ? C'est pour essayer de répondre à cette question que Dweck (1986, 2000) a proposé les théories implicites de l'intelligence (TII) qui servent de cadre pour comprendre les réactions des individus dans un contexte d'accomplissement. Les théories implicites de l'intelligence sont des croyances qui concernent la modificabilité de l'intelligence. Elles sont dites implicites parce que l'individu n'en a pas toujours conscience. Elles exercent une influence sur la façon d'apprendre, les objectifs suivis et surtout la manière de percevoir le succès et l'échec. Dweck (1986, 2000) différencie deux théories implicites de l'intelligence : la théorie incrémentielle, plus connue sous le nom de *growth mindset*, et la théorie de l'entité connue sous le nom de *fixed mindset*.

1. La théorie incrémentielle vs la théorie de l'entité

Les personnes avec une théorie de l'entité croient que leur intelligence est innée et immuable. Elles pensent que leurs capacités intellectuelles sont des traits fixes et ne peuvent pas être modifiées. Les personnes avec une théorie incrémentielle de l'intelligence croient que leur intelligence peut être développée grâce à l'effort. Leurs capacités intellectuelles sont perçues comme des qualités malléables qui peuvent être cultivées avec le temps. En fonction de leurs croyances sur la malléabilité de leur intelligence, les apprenants vont réagir différemment lorsqu'ils seront face à une situation difficile (Molden et Dweck, 2006). Par exemple, devant un problème mathématique difficile, un apprenant avec une théorie incrémentielle va déployer les efforts nécessaires pour résoudre le problème, même s'il n'était pas capable de le faire dès la première tentative. Croire que ses capacités sont malléables implique qu'avec la pratique il peut les améliorer et être de plus en plus capable de résoudre des problèmes mathématiques de plus en plus complexes. Au contraire, un apprenant avec une théorie de l'entité va attribuer ses difficultés à résoudre le problème à ses capacités innées et donc inchangeables. Ses difficultés seront interprétées comme l'image d'une intelligence

insuffisante. Les apprenants avec une théorie de l'entité, contrairement à ceux avec une théorie incrémentielle, ont tendance à fournir moins d'effort quand les choses deviennent difficiles (Vermetten et al., 2001). Ces apprenants ne voient pas l'intérêt de fournir des efforts, car, selon leurs croyances, leurs capacités peuvent être difficilement améliorées.

Les théories implicites de l'intelligence vont aussi entraîner des buts d'accomplissement alignés sur la croyance en la malléabilité ou l'inflexibilité de l'intelligence (Dweck & Leggett, 1988). Les élèves ayant une TII incrémentielle vont tendre à poursuivre des buts de maîtrise qui visent l'amélioration des compétences, tandis que ceux ayant une TII de l'entité vont plutôt privilégier les buts de performance qui visent à démontrer une compétence. La méta-analyse de Burnette et al. (2013) a réussi à mettre en évidence ce lien entre théories implicites et buts d'accomplissement. Les TII incrémentielles étaient positivement corrélées aux buts de maîtrise et négativement corrélées aux buts de performance. Quant aux TII de l'entité, le modèle inverse a été observé. Ces associations étaient plus élevées en ce qui concerne les buts d'évitement de performance, où l'apprenant va éviter de se trouver dans des situations d'incompétence, et les buts d'approche de maîtrise, où l'apprenant cherche activement à améliorer ses compétences. Plusieurs études récentes ont aussi réussi à mettre en évidence la relation entre buts d'accomplissement et théories implicites de l'intelligence. En utilisant la modélisation avec équations structurelles de données récoltées par questionnaires, Liu (2021) a montré que les TII incrémentielles prédisent non seulement les buts d'approche de maîtrise, mais aussi les buts d'évitement de maîtrise où les individus visent à éviter d'échouer à atteindre la maîtrise ou la compétence, et que les TII de l'entité prédisent les deux types de buts de performance, approche et évitement. Rouch et al. (2022), quant à eux, ont trouvé que les TII de l'entité ne sont corrélées qu'aux buts d'évitement de performance, mais les corrélations des TII incrémentielles avec les buts de maîtrise sont similaires aux résultats de Liu (2021). Toutefois, il a été observé dans l'étude par régressions multiples de Marley et Wilcox (2022) que les TII incrémentielles étaient associées aux buts de performance, à la fois d'évitement et d'approche, mais que ces associations ont été jugées faibles comparées aux liens avec les TII de l'entité.

Malgré des résultats inconsistants, les relations les plus stables entre les théories implicites de l'intelligence et les buts d'accomplissement sont le lien positif entre les théories incrémentielles et les buts d'approche de maîtrise et entre les théories de l'entité et les buts d'évitement de performance. Ces buts ont des effets différents sur les performances académiques. Les buts d'approche de maîtrise sont associés à des conséquences positives

dans le contexte académique, tel que les performances PISA[2], le plaisir de lire, l'ambition à finaliser le cursus universitaire (Guo et al., 2023), l'effort et les stratégies d'apprentissage approfondies (Dupeyrat & Mariné, 2005). Au contraire, les buts d'évitement de performance ont un effet négatif sur les performances (Darnon et al., 2007) et sont associés à une faible utilisation des stratégies cognitives et métacognitives (Senko, 2016).

Indépendamment des buts d'accomplissement, les théories implicites de l'intelligence ont un effet sur les performances académiques. En effet, la méta-analyse de Costa et Faria (2018) a démontré que les TII incrémentielles sont positivement associées à la réussite académique, contrairement aux TII de l'entité. En outre, les recherches ont démontré que les TII incrémentielles sont positivement liées à l'utilisation de stratégies d'autorégulation (Daron et al., 2009), à des niveaux de stress plus faibles (Tao et al., 2022) et à des émotions négatives moins importantes (Burnette et al., 2013) par rapport aux TII de l'entité. Celles-ci sont quant à elles associées aux comportements d'auto-handicap (Rouch et al., 2022), au désengagement (Burnette et al., 2013) et à la procrastination (Howell & Buro, 2009).

Les théories incrémentielles de l'intelligence semblent principalement être associées à des conséquences positives et plus adaptées au développement des compétences, tandis que les théories de l'entité de l'intelligence paraissent davantage liées à des conséquences négatives et moins adaptées. Une conclusion qui s'inscrit dans le cadre théorique de Dweck et collaborateurs (Dweck, 2006; Dweck & Leggett, 1988; Molden & Dweck, 2006). Qu'en est-il alors de leur impact sur la perception et les réactions face à l'erreur ?

2. Les théories implicites de l'intelligence face à l'erreur

Les individus avec une théorie de l'entité conçoivent le soi comme une collection de traits fixes qui sont mesurés et évalués, tandis que ceux avec une théorie incrémentielle considèrent le soi comme un système de qualités malléables qui peuvent évoluer (Dweck & Leggett, 1988). Dans cette perspective, les échecs et les erreurs sont interprétés différemment. Selon les personnes qui souscrivent à la théorie de l'entité de l'intelligence, une erreur signifie que la compétence en question, en l'occurrence l'intelligence, est absente de manière permanente (Molden & Dweck, 2006). Les individus avec une théorie incrémentielle de l'intelligence vont, au contraire, percevoir l'erreur comme un constat sur leur compétence

[2] Une évaluation internationale standardisée qui mesure les compétences des élèves de 15 ans en lecture, mathématiques et sciences. Elle est menée tous les trois ans par l'OCDE.

actuelle qui nécessite une amélioration en étant plus attentif et en fournissant plus d'efforts (Molden & Dweck, 2006). Les théories implicites sur l'intelligence influenceront donc la manière dont les élèves réagissent à l'erreur. Ces réactions seront en harmonie avec leur perception de celle-ci. Dans une étude sur les réactions face à l'erreur d'étudiants universitaires en fonction de leur théorie implicite de l'intelligence, Chouvalova et collaborateurs (2024) ont étudié la relation entre les TII, les croyances sur l'erreur, les réactions affectives et motivationnelles et les réactions liées à l'action. Cette étude assez récente a révélé que les TII de l'entité sont négativement associées aux croyances adaptées sur l'erreur qui sont de fortes convictions que les erreurs fournissent des opportunités d'apprentissage (Tulis et al., 2016). Les résultats ont aussi démontré que les TII incrémentielles sont associées avec des réactions affectives, motivationnelles et liées à l'action qui sont adaptées à l'apprentissage à partir de l'erreur. Aucune association entre ces réactions et les TII de l'entité n'a été établie. Ces résultats ne sont pas surprenants puisque Tulis et al., en 2016, ont montré que les buts d'approche de maîtrise sont prédicteurs des croyances et des réactions adaptées face à l'erreur et ce type de buts, comme nous l'avons vu plus haut, ne sont associés qu'à des croyances incrémentielles sur l'intelligence. Selon l'étude de Tulis et al. (2016), des croyances appropriées à l'égard de l'erreur sont des prédicteurs de réactions adaptées à l'erreur. Par conséquent, les apprenants ayant une TII de l'entité qui ont des croyances inadaptées sur l'erreur seraient plus enclins à réagir de manière inadaptée face à l'erreur. Dans l'étude de Robins et Pals (2002), qui avait utilisé des données longitudinales pour mettre en évidence l'impact des théories implicites sur les réactions des étudiants universitaires, surtout en cas de difficultés, il a été démontré que les étudiants ayant une TII de l'entité avaient tendance à abandonner plus facilement face à des situations contraignantes comme une difficulté à réaliser correctement la tâche. Ces étudiants étaient aussi plus sujets à des affects négatifs, surtout en cas d'échec. Tao et al. (2022) ont, en effet, mis en évidence que plus des étudiants adhéraient à des croyances d'entité sur l'intelligence, plus ils craignaient de se retrouver face à une situation d'échec et moins ils utilisaient de stratégies de coping centrées sur le problème. Ces dernières consistent à rechercher des moyens pour se réengager de manière constructive dans une situation stressante et à maintenir les efforts dans le but de modifier l'issue première de la situation (Skinner et al., 2013). Le concept de coping centré sur le problème est souvent opposé au coping centré sur les émotions qui visent à diminuer le ressenti négatif en se désengageant de la situation. Ce dernier style de coping est souvent utilisé par les individus avec une TII de l'entité lorsqu'ils sont confrontés à des

situations de stress liées à l'accomplissement (Burnette et al., 2013). Mangels et al. (2006) ont réussi à apporter une preuve supplémentaire à la pertinence affective des erreurs pour les apprenants avec une TII de l'entité. Les auteurs ont utilisé les potentiels évoqués, une mesure de l'activité électrique du cerveau en réponse à une stimulation, pour étudier l'effet des théories implicites de l'intelligence sur les réactions qui suivent un message d'erreur. Les participants répondaient à un test de culture générale et recevaient un feedback sur leur réponse ; un feedback évaluatif (rouge pour incorrect et vert pour correct) suivi de la bonne réponse. Ils ont observé que le feedback évaluatif négatif, lorsqu'une erreur est commise, déclenchait chez les participants avec une TII de l'entité une activation plus élevée comparée aux participants avec une TII incrémentielle au niveau de l'électrode P3[3] frontale antérieure indiquant une plus forte saillance émotionnelle de l'erreur pour les participants avec une TII de l'entité. Cette activation n'a pas prédit une prise en compte de la bonne réponse ou une correction de l'erreur commise. En revanche, les participants avec une TII incrémentielle avaient plus d'activité négative temporale inférieure gauche, en lien avec la mémoire, que les participants avec une TII de l'entité, et cela, pour une durée plus longue lors de l'affichage de la bonne réponse. Cette activité a été associée à une correction de l'erreur.

En utilisant des tâches moins liées au contexte éducatif, Moser et al. (2011) et Schröder et al. (2017) ont observé des résultats similaires. Lors d'une tâche de type Flanker Task[4], des participants issus de l'université ont participé à une expérience dans laquelle leur activité cérébrale était mesurée. Plus précisément, les chercheurs ont examiné l'amplitude de la composante de positivité de l'erreur[5] (Pe), un signal cérébral reflétant l'attention consciente allouée aux erreurs. Les résultats ont montré que l'amplitude de la Pe était plus importante lorsque les participants adhéraient à une conception incrémentielle de l'intelligence qu'une conception de l'entité. En d'autres termes, les participants avec une TII incrémentielle ont porté plus d'attention au message d'erreur (croix de fixation en rouge). Cette attention accrue s'est traduite par de meilleures performances dans les tests suivants (Moser et al., 2011). Le

[3] P3 frontale antérieure est associé à la capture attentionnelle non volontaire ou au processus « bottom up » (Friedman et al., 2001)

[4] La tâche de Flanker d'Erikson (Eriksen & Eriksen, 1974) est un test qui permet de mesurer l'attention sélective et l'inhibition. Le participant doit répondre à la direction de la cible centrale, en ignorant les flankers (stimuli environnants). Les flankers soit pointent dans la même direction que la cible (condition « congruent », par exemple, « > > > > > »), soit pointent dans la direction opposée à la cible (condition « incongruent », par exemple, « < < > < < »).

[5] La composante de positivité de l'erreur (Pe, *Error Positivity*) est une déviation positive lente, atteignant un pic approximativement entre 200 ms et 600 ms après une erreur.

même résultat a été observé chez des enfants qui réalisaient une tâche de Go/no Go[6]. La théorie incrémentielle était associée à des amplitudes de Pe plus importantes indiquant une attention plus accrue aux erreurs qui a permis une amélioration des performances (Schröder et al., 2017). Une étude récente des potentiels évoqués de Puusepp et al. (2021) a confirmé ces résultats en concluant que les théories implicites de l'intelligence impactent le comportement attentionnel des apprenants face à l'erreur.

En somme, comme prédit par le modèle de Tulis et al., (2016), les théories implicites de l'intelligence, qu'elles soient incrémentielles ou de l'entité, peuvent influencer la manière dont les apprenants vont réagir face à l'erreur, et ainsi conditionner leur apprentissage à partir de celle-ci. En effet, une conception fixiste de l'intelligence (théorie de l'entité) conduit à des réactions affectives (stress), motivationnelles (baisse de motivation) et liées à l'action (désengagement) inadaptées, et par conséquent, à un apprentissage difficile. En revanche, une conception incrémentielle (théorie incrémentielle) engendre des réactions positives : stress limité, maintien de la motivation et attention aux feedbacks, ce qui permet un apprentissage efficace à partir de l'erreur.

Compte tenu de l'influence positive de la théorie implicite incrémentielle de l'intelligence par opposition à la théorie de l'entité, plusieurs recherches ont tenté de modifier la théorie implicite des apprenants pour la rendre plus incrémentielle.

3. Les interventions dites de « Growth mindset ».

Les interventions qui visent à modifier les théories implicites de l'intelligence vers une conception plus incrémentielle sont connues sous le nom d'intervention *growth mindset*. Au début des années 2000, il n'y avait que peu d'études qui s'intéressaient à la mise en place de ce type d'intervention puis l'intérêt pour ces interventions a explosé avec le temps (Dweck & Yeager, 2019). L'une des premières études était celle d'Aronson et al. (2002). Les chercheurs ont enseigné la perception incrémentielle à des étudiants universitaires en se servant de la métaphore du cerveau qui, comme un muscle, devient plus fort avec l'exercice. Ils ont aussi demandé à leurs participants d'écrire des lettres à des élèves du collège pour leur partager ce qu'ils venaient d'apprendre. Les résultats ont montré que l'intervention a permis une modification de la théorie implicite de l'intelligence et a eu un impact positif sur les

[6] Un test où les participants doivent réagir rapidement (« go ») à certains stimuli et s'abstenir de réagir (« no-go ») à d'autres. Il évalue la capacité d'une personne à inhiber une réponse prédominante.

performances académiques et en particulier pour les étudiants afro-américains. Une autre intervention *growth mindset* a été testée auprès de collégiens dans l'étude de Blackwell et al. (2007). L'intervention s'est déroulée sur huit séances de 25 minutes chacune, à raison d'une séance par semaine. L'effet de celle-ci était positif sur la motivation des élèves en mathématiques et leurs performances. Une étude plus récente de 2023 a testé une intervention *growth mindset* de 8 sessions (Tableau 1) avec des élèves de primaire (Zhao et al., 2023).

Table 1.

Protocole de l'intervention Zhao et al. (2023)

Semaine	Module	Description
Semaine 1–3	Module 1	Introduction aux mentalités et à la plasticité cérébrale (nature malléable de l'intelligence, vidéos et preuves scientifiques).
Semaine 4–5	Module 2	Interprétation des échecs avec une mentalité de croissance (réalisation de tâches et discussion sur l'échec).
Semaine 6–7	Module 3	Valorisation de l'effort et des stratégies d'apprentissage (partage d'histoires de pairs).
Semaine 8	Module 4	Exploration du plaisir d'apprendre et fixation d'objectifs de maîtrise pour le semestre.

Après les 8 sessions, les auteurs ont observé une modification de la conception de l'intelligence vers une conception plus incrémentielle. Cette modification a été accompagnée par un changement de croyances sur l'échec ; les participants qui ont bénéficié de l'intervention avaient des croyances positives sur l'échec en le percevant comme une opportunité pour apprendre. En plus de ces changements au niveau des croyances, les participants du groupe intervention étaient plus disposés à adopter des stratégies positives lorsqu'ils seront confrontés à des difficultés scolaires. Trois mois après, ces participants ont fait état d'une conception plus incrémentielle de l'intelligence, comparé au groupe contrôle, ce qui a indirectement augmenté leurs croyances positives sur l'échec et leurs tendances à adopter des stratégies adaptées. Cependant, cet effet positif de l'intervention n'a été maintenu que dans le cas d'un contexte familial qui soutenait cette vision positive de l'échec.

D'autres recherches ont privilégié des interventions en ligne qui permettaient d'avoir accès à plus de participants (Broda et al., 2018; Paunesku et al., 2015; Yeager et al., 2016). Yeager et al. (2016) ont proposé une intervention à des étudiants avant l'entrée à l'université.

Leur intervention *growth mindset* visait à apprendre aux étudiants que l'intelligence est malléable et qu'elle peut être modifiée en fournissant des efforts. C'était une intervention courte et en ligne qui a permis d'aider les étudiants les plus désavantageux en réduisant l'écart avec leurs compères au niveau de la moyenne générale. Broda et al. (2018) ont comparé trois groupes : un groupe intervention *growth mindset,* qui lisait un texte sur la plasticité cérébrale et répondaient à des questions de réflexion, un groupe intervention sur l'appartenance sociale, qui lisait des histoires sur les difficultés à l'entrée à l'université, et un groupe contrôle. L'intervention *growth mindset* a eu un effet significatif sur la moyenne générale mais uniquement pour une catégorie sociale des participants (les latino-américains).
Les interventions *growth mindset* pourraient alors être bénéfiques aux apprenants en modifiant leur conception de l'intelligence et leurs croyances face à l'erreur et in fine améliorer leurs compétences académiques. Cependant, les résultats de différentes méta-analyses ont contesté l'effet bénéfique qu'aurait ce type d'intervention. La revue systématique et méta-analyse de Macnamara et Burgoyne (2023) était particulièrement critique envers les interventions *growth mindset*. Les résultats ont mis en évidence un effet très faible voire non significatif de ces interventions sur les performances académiques même quand celle-ci réussissaient à modifier les théories implicites des participants. La méta-analyse de Burnette et al. (2023), quant à elle, était plus clémente indiquant un effet certes faible mais significatif des interventions *growth mindset* sur les performances académiques et un effet plus important de ces interventions sur des prédicteurs plus proximaux comme les comportements orientés vers la maîtrise et la persistance dans la tâche. Les différentes méta-analyses ou revues qui se sont intéressées aux interventions *growth mindset* (Burnette et al., 2023; Dweck & Yeager, 2019; Macnamara & Burgoyne, 2023; Sisk et al., 2018) s'accordent sur un résultat : l'effet des interventions *growth mindset* est si hétérogène d'une étude à l'autre qu'il est difficile de conclure avec certitude sur l'efficacité réelle de ces interventions, d'autant plus qu'il était compliqué de comprendre la source de cette hétérogénéité à cause des populations et des contextes qui diffèrent souvent d'une étude à une autre (Dweck & Yeager, 2019).

Il apparaît donc nécessaire de trouver d'autres approches qui permettent aux apprenants de mieux appréhender les moments difficiles, notamment lorsqu'ils sont confrontés à des erreurs, afin de transformer ces expériences, potentiellement désagréables, en opportunités d'apprentissage significatives. Cette thèse va tester l'efficacité de deux interventions sur la prise en compte de l'erreur par les apprenants.

2. Les théories implicites de l'intelligence – Points clés

- Il existe deux théories : la théorie incrémentielle et la théorie de l'entité qui impactent comment les apprenants réagissent face à l'erreur en termes d'affect ressenti et d'attention portée sur la tâche
- La théorie de l'entité a un effet négatif sur les croyances liées à l'erreur ainsi que les réactions face à celle-ci tandis que la théorie incrémentielle génère des croyances et des réactions plus adaptées.
- Les interventions *growth mindset* ont été mises en place pour pallier les effets négatives d'une conception de l'entité mais leur efficacité reste un sujet à polémique.

Chapitre 3 : Méthodologie pour l'étude des réactions face aux erreurs

Deux types de réactions peuvent être provoqués face à une erreur : les réactions motivationnelle-affectives et les réactions liées à l'action (Dresel et al., 2013). Dans cette thèse, nous nous sommes focalisés sur les réactions affectives et attentionnelles au feedback. Dans cette section, nous présentons des moyens de mesurer ces deux types de réactions.

1. Mesure de la réaction affective

Les affects regroupent les réponses de stress, les émotions et l'humeur. L'humeur est un état plus durable comparativement à la réponse de stress et l'émotion qui sont des réactions face à un événement significatif (Gross, 2015). Dans ce manuscrit, le terme « réactions affectives » désigne donc la réponse au stress provoqué par des événements perçus comme difficiles, ainsi que les réactions émotionnelles, qui peuvent être négatives ou positives.

Les réactions affectives sont des états psychologiques déclenchés par un stimulus, une expérience ou une situation évaluée soit positivement, bon pour moi, ou négativement, mauvais pour moi (Scherer, 1984). Ces réactions sont accompagnées par des changements au niveau :

- Émotionnel : l'expérience subjective ressentie.
- De la cognition : les pensées et les attentes.
- Physiologique : les changements neuroendocriniens et du système nerveux autonome.
- Comportemental : les expressions faciales et gestes.

(D'après Mauss et al., 2005)

La littérature définit deux dimensions des réactions affectives : le niveau d'activation (arousal) et la valence (modèle bidimensionnel de Russel, 1980). Le niveau d'activation correspond au degré d'éveil physiologique d'un individu en réponse à un stimulus. Il varie d'un état de calme ou de base (basse activation) à un état d'excitation (haute activation). Le niveau d'activation peut être mesuré à travers les réactions physiologiques, comme la

fréquence cardiaque ou la conductance cutanée. La valence fait référence à la nature positive ou négative de la réaction affective ou de l'émotion ressentie. Une valence positive est perçue comme agréable tandis qu'une valence négative est perçue comme désagréable.
La valence de la réaction affective ainsi que le niveau d'activation ont un impact sur les comportements, les processus cognitifs et motivationnels. Il est donc important de les prendre en considération dans les apprentissages et dans les contextes d'accomplissement (Gläser-Zikuda, 2012).

1.1. Différentes mesures des réactions affectives

Mesurer les réactions affectives en psychologie repose sur plusieurs méthodes. Nous pouvons principalement distinguer deux méthodes : les mesures auto-rapportées et les mesures physiologiques.
Les mesures auto-rapportées. Les questionnaires sont largement utilisés dans la recherche psychologique. Ils sont faciles à mettre en œuvre et la plupart des questionnaires ont réussi à prouver leur validité. Les questionnaires utilisés dans la littérature pour mesurer les réactions affectives sont soit des questionnaires à un seul item (ex. : *comment vous sentez-vous en ce moment positif/négatif* ? Sayed et al., 2021), soit des questionnaires à plusieurs items. Le questionnaire à plusieurs items le plus courant est le PANAS (*Positive and Negative Affect Schedule*, Watson et al., 1988) composé de 40 items divisés en deux dimensions : affect positif vs affect négatif. Dans le contexte des réactions face à l'erreur, Dresel et al. (2013) avaient développé un questionnaire des réactions affectivo-motivationnelles face à l'erreur. Le questionnaire comporte 6 items avec 3 items spécifiques aux réactions affectives (ex. : *Quand je dis quelque chose de faux en mathématiques, pour moi, le cours est fichu*).
En plus des questionnaires, d'autres mesures auto-rapportées ont été développées, comme les curseurs affectifs (*Affective Slider*, Betella & Verschure, 2016) qui permettent de mesurer non seulement la valence, mais aussi le niveau d'activation , ainsi que des échelles basées sur des images comme le *Highly Dynamic and Reusable Picture-based Scale* (HDRPS, Liu et al., 2023). L'utilisation de ces mesures est valide tant qu'elles sont utilisées pour mesurer l'état du moment de l'individu. Cependant, tous les individus ne sont pas conscients et capables de différencier leurs états affectifs (Mauss & Robinson, 2009) d'où les mesures physiologiques.

Les mesures physiologiques. Contrairement aux mesures auto-rapportées, les mesures physiologiques peuvent permettre une mesure plus objective et en temps réel des réactions

affectives. Ces réactions impliquent des modifications physiologiques au niveau du système nerveux autonome. Le système nerveux autonome (SNA) est responsable de la régulation des fonctions involontaires de l'organisme, en maintenant l'équilibre interne (homéostasie) et en adaptant le corps aux exigences de l'environnement. Il est composé du système nerveux sympathique (SNS) et du système nerveux parasympathique (SNP) associés à l'activation et au repos, respectivement. Les indices les plus communément utilisés pour mesurer l'activation du SNA sont l'activité électrodermale et la réponse cardiovasculaire (Mauss & Robinson, 2009).

L'activité électrodermale correspond à la variation de l'activité électrique enregistrée sur la surface de la peau reflétant l'activité des glandes sudoripares. La mesure la plus commune de l'activité électrodermale est le niveau de conductance cutanée. La réponse cardiovasculaire comprend les mesures de fréquence cardiaque, le débit cardiaque et la plus commune, la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) qui sera présentée plus en détail dans la section suivante.

D'autres mesures, comme l'encéphalographie, la mesure de l'activité électrique du cerveau (voir Xu & Plataniotis, 2012), l'électromyographie, l'enregistrement de l'activité électrique au niveau musculaire (voir Korb & Delplanque, 2013) ont été utilisées pour mesurer les réactions affectives.

1.2. Introduction à la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC)

Le cœur et le cerveau ne sont pas indépendants, mais communiquent par des signaux électriques et interactions hémodynamiques (changements du flux sanguin). Le nerf vague, qui fait partie du système parasympathique, diminue l'activité cardiaque en libérant de l'acétylcholine tandis que les nerfs sympathiques augmentent cette activité en libérant de la norépinephrine et de l'épinéphrine (Shaffer et al., 2014). Le cœur envoie aussi des signaux au cerveau principalement grâce au nerf vague (McCraty & Childre, 2010), mais aussi par les nerfs sympathiques. Les signaux vont atteindre des zones cérébrales comme l'amygdale, impliquée dans les émotions et le stress, et le cortex cérébral, impliqué dans les processus de haut niveau et la prise de décision. En raison de ces interactions bidirectionnelles entre le système nerveux central et le cœur, il est établi que des changements au niveau central, tels que des pensées ou des émotions, peuvent entraîner des variations de la fréquence cardiaque. Parallèlement, les fluctuations de la variabilité de la fréquence cardiaque, un indicateur de

l'adaptation du cœur aux stimuli, sont susceptibles d'influencer notre état mental et émotionnel. La cohérence cardiaque[7], par exemple, repose sur ce constat ainsi que l'utilisation de la variabilité de la fréquence cardiaque comme indicateur des réactions affectives.
La variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) est la mesure de la variabilité du temps séparant chaque battement cardiaque (figure 3).

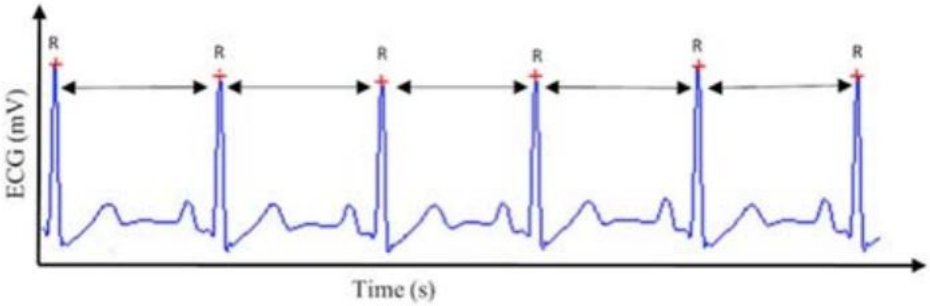


Figure 3. Variabilité de la fréquence cardiaque. Cette image illustre les changements de l'intervalle de temps séparant deux pics R-R successifs (issue de Laborde et al., 2017).

L'analyse de la VFC permet de calculer plusieurs variables. On distingue principalement deux types d'analyse : temporelle et fréquentielle (Arakaki et al., 2023 ; Laborde et al., 2017).
L'analyse temporelle décrit les variations dans le temps. Les mesures les plus fréquentes sont :

- Le SDNN (écart type des intervalles RR) qui reflète la variabilité globale.
- Le RMSSD (racine carrée de la moyenne des carrés des différences successives des intervalles RR), un reflet de l'activité parasympathique.
- Le pNN50 (% d'intervalles RR successifs qui diffèrent de plus de 50 ms), un indicateur de l'activité vagal.

L'analyse fréquentielle consiste à décomposer la variabilité en différentes bandes de fréquences pour identifier les influences du système nerveux autonome, par exemple à l'aide de la transformation de Fourier. La variabilité peut être décomposée en HF (haute fréquence, .15 - .4 Hz), LF (basse fréquence, .04Hz - .15Hz), VLF (très basse fréquence, < .04 Hz). Le ratio LF/HF peut être calculé et indique le rapport entre les influences sympathiques et parasympathiques.
La VFC est influencée par l'âge et le sexe des participants (Arakaki et al., 2023). Les personnes de sexe féminin ont des valeurs de SDNN plus faibles, mais ont des valeurs de

[7] La cohérence cardiaque est un état d'équilibre physiologique et émotionnel qui se manifeste par une synchronisation harmonieuse entre le rythme cardiaque, la respiration et le système nerveux autonome. C'est une technique de respiration qui vise à optimiser la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) pour améliorer le bien-être général.

RMSSD plus élevées. Le SDNN diminue avec l'âge tandis que le RMSSD diminue entre l'âge de 40 à 60 puis augmente entre l'âge de 60 à 70 ans. La VFC est aussi impactée par le rythme circadien (Boudreau et al., 2012) et la respiration. Le rythme cardiaque augmente lors de l'inspiration et diminue lors de l'expiration (Billette & Nattel, 1994).

Puisque nous parlons de la variabilité de la fréquence cardiaque, il semble important de mentionner brièvement la théorie polyvagale, même si elle ne sera pas explicitement utilisée dans cette thèse.

1.3. La théorie polyvagale

Le théorie polyvagale de Stephen Porges (2001) est un modèle théorique qui permet d'expliquer comment le système nerveux central influence le système nerveux autonome. Cette théorie postule qu'il existe 3 systèmes :

- Le système vagal dorsal : c'est le plus ancien en termes d'évolution humaine. Il est impliqué dans la réponse d'immobilisation face à un danger « *freezing* ».
- Le système nerveux sympathique : c'est la voie de la réponse de l'attaque ou de la fuite « *fight or flight response* ». Elle s'active en cas de danger ou de stress.
- Le système vagal ventral : c'est la voie la plus récente sur le plan évolutif. Elle permettrait un engagement ou un désengagement rapide de l'environnement (communication non verbale, autorégulation émotionnelle). Ce système, quand il est dominant, favorise des états comportementaux calmes en inhibant les influences sympathiques du cœur (Porges, 2007).

Selon la théorie polyvagale, une variabilité cardiaque élevée au repos est associée à une meilleure régulation émotionnelle. Des études ont effet montré qu'un faible niveau de VFC est généralement associés à des comportements antisociaux et de l'agressivité (Pellissier, 2013).

1.4. VFC comme indicateur d'arousal.

Les réactions affectives se caractérisent par leur valence et leur degré d'activation physiologique. Le système nerveux autonome intervient dans l'arousal physiologique, qui, comme expliqué précédemment, exerce une influence sur le rythme cardiaque. Dans une situation de stress, l'activité du SNS est dominante, ce qui génère une augmentation de la fréquence cardiaque et donc une activation physiologique dans le but de s'adapter à une

situation difficile (Appelhans & Luecken, 2006). La variabilité de la fréquence cardiaque s'est avérée être un bon indicateur de l'activation physiologique (Mohammadpoor Faskhodi et al., 2023) et de la capacité d'un individu à réagir face à une situation qu'il perçoit comme menaçante. Des valeurs de VFC élevées sont associées à une meilleure adaptabilité des réactions émotionnelles, tandis que des valeurs faibles sont liées à une dérégulation émotionnelle, comme l'anxiété ou la dépression (Appelhans & Luecken, 2006). La méta-analyse de Castaldo et al. (2015) a révélé qu'une diminution du RMSSD, un indicateur de la VFC, est observée pendant les périodes de stress. Cette diminution du RMSSD a également été constatée par Hilgarter et al. (2021) lors de l'exposition à des stimuli stressants, comparativement à une période de repos. À la suite de cette exposition, une augmentation du RMSSD a été observée durant la phase de récupération. Ainsi, la diminution de la VFC, mesurée par le RMSSD, peut être considérée comme une signature physiologique de la réaction au stress.

1.5. Considérations méthodologiques

a. Protocole expérimental

En raison des variations interindividuelles pouvant influencer la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC), il est recommandé d'adopter des plans expérimentaux intra-sujets (Quintana & Heathers, 2014). Cette approche permet de contrôler l'impact de facteurs externes tels que la qualité du sommeil ou la consommation de tabac, qui pourraient affecter les mesures de la VFC. Ces plans consistent à comparer un état de base (repos) avec une phase d'activation induite par une stimulation.

b. Mesure de l'activité cardiaque

Les données cardiaques peuvent être obtenues en réalisant un enregistrement de surface à l'aide d'électrodes. L'activité électrique du cœur, due à la dépolarisation non simultanée des oreillettes et des ventricules pendant la contraction, peut être représentée comme un dipôle, dont la direction correspond à l'axe anatomique du cœur. Il est donc préconisé de déposer les électrodes selon cet axe (figure 4) ce qui permet d'obtenir une plus grande amplitude du signal (Pellissier, 2013).

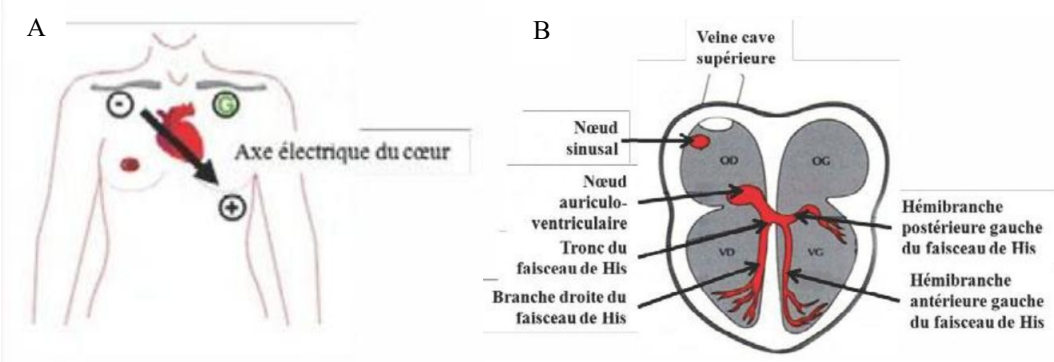


Figure 4. Positionnement standard des électrodes (A) et Anatomie du cœur (B). Images issues de Pellissier (2013)

c. Qualité du signal

Étant donné que la respiration peut également influencer la VFC (Houtveen et al., 2002), il est crucial de la prendre en compte et de corriger les mesures en conséquence (Grossman, 1992). Par conséquent, il est conseillé de mesurer la respiration en parallèle du rythme cardiaque. Enfin, pour minimiser le bruit dans le signal, et particulièrement lors de la mesure du tonus vagal (voir Laborde et al., 2017), il est important de demander aux participants de rester assis, le torse droit, et d'éviter tout mouvement brusque.

1.6. Applications dans l'étude des feedbacks

La majorité des études qui ont utilisé la variabilité de la fréquence cardiaque dans le contexte académique se sont focalisées sur la mesure de la réaction de stress auprès d'une population étudiante et ont utilisé la VFC pour étudier le stress face à des situations difficiles, comme les travaux pratiques ou les examens (H. J. Kim et al., 2024)

L'une des rares études qui ont exploré l'effet du feedback négatif (incorrecte) sur la VFC est celle d'Azam et al. (2018). Dans cette étude, les participants devaient réaliser une tâche de reconnaissance des formes. Cette tâche consistait à présenter aux participants des caractères alphanumériques et à leur demander de déterminer si un cinquième caractère suivait un modèle spécifique. Ils recevaient un feedback sur leur réponse. Les résultats ont révélé que les personnes attentives aux feedbacks négatifs présentaient des réductions significatives de la variabilité de la fréquence cardiaque, ce qui indique des niveaux de stress accrus.

La réduction de la VFC est associée à des niveaux de stress perçus plus élevés (J. Kim et al., 2024). L'étude de la VFC pendant l'affichage d'un feedback annonçant une erreur devrait permettre de clarifier la façon dont les apprenants ayant une théorie de l'entité en particulier, perçoivent ce message ; Est-ce une information stressante ou non ?

2. Mesure de la réaction attentionnelle

Nous sommes confrontés dans notre environnement à une multitude de stimulations qui nécessitent d'être triées pour ne pas submerger notre système cognitif. Le système responsable de ce tri est l'attention. L'attention peut être définie comme un processus ou état mental qui permet de sélectionner l'information pertinente parmi un ensemble d'information externe (environnement) ou interne, comme des souvenirs ou des pensées (Léger, 2016). On distingue plusieurs formes d'attention : sélective, soutenue et divisée. Dans cette thèse nous nous intéressons à l'attention sélective qui peut être endogène ou exogène. L'attention endogène, *top-down*, est dirigée volontairement vers un stimulus selon les motivations et les objectifs de l'individu. L'attention exogène, *bottom-up*, est capturée par une stimulation externe, une alarme par exemple.

Selon Broadbent (1958), l'attention fonctionne comme un filtre qui sélectionne les informations qui peuvent passer du système sensoriel au système perceptif. Le système sensoriel est constitué de l'ensemble des organes et voies nerveuses qui détectent les stimuli de l'environnement (les formes d'un dessin, la luminosité, etc.) tandis que le système perceptif recouvre l'ensemble des processus cérébraux qui permettent d'interpréter et de donner du sens aux informations sensorielles. Ce filtre permettrait par exemple de bloquer les distracteurs pour faciliter le traitement des informations pertinentes. Le filtre attentionnel de Broadbant (1958) est supposé être comme étant rigide et empêchant toute information non pertinente d'être perçue. Cette conception ne permettant pas de comprendre pourquoi le cerveau arrive à se concentrer sur une conversation spécifique au milieu d'un environnement bruyant, tout en restant capable de remarquer d'autres informations importantes, comme notre nom prononcé à l'autre bout de la pièce (*cocktail party effect*), Treisman (1964) propose alors, qu'à la place du filtre attentionnel, l'attention agirait comme un atténuateur. L'intensité des informations qui ne sont pas importantes serait donc atténuée pour permettre le traitement des informations jugées comme importantes. Quoi qu'il en soit, les deux modèles s'accordent sur le fait que seule l'information à laquelle on est attentif est traitée. Sélectionner l'information à traiter est important car les ressources attentionnelles sont limitées. Selon le modèle du réservoir de Kahneman (1973), chaque proportion de ressources attentionnelles serait allouée à une tâche et son traitement cognitif. Si une 1ère tâche requiert une grande quantité de ressources attentionnelles (trop de publicité et de pop-up sur une page), la 2ème tâche ne pourra

pas être correctement réalisée (ex. la lecture d'un article sur une page web) d'où l'importance de porter son attention que sur les éléments pertinents.

L'attention peut être allouée vers un stimulus avec ou sans mouvement oculaire (Posner, 1980). Lorsque l'attention est dirigée sans mouvements oculaires, elle est appelée attention implicite ou « *covert attention* ». Quand celle-ci est accompagnée de mouvements oculaires, on l'appelle attention explicite ou « *overt attention* ». Il est important de noter que l'attention endogène, exogène, implicite et explicite ne sont pas forcément exclusives et peuvent coexister ou être combinées. Par exemple, un individu peut fixer son regard sur un point (attention explicite) tout en surveillant son environnement (attention implicite). Un étudiant peut tout à fait choisir délibérément de prêter attention aux idées principales dans un cours pour mieux comprendre le sujet traité (attention endogène) tout en étant captivé par une inflexion de voix particulière qui attire immédiatement son attention et renforce sa concentration sur le sujet traité, comme lorsque l'enseignant utilise un ton plus passionné (attention exogène).

Nous nous intéressons ici plus particulièrement à l'attention explicite qui peut être étudiée grâce aux mouvements oculaires. En effet, dans les tâches complexes, attention et mouvements oculaires sont quasiment indissociables (Liversedge & Findlay, 2000).

2.1. Différentes mesures de l'attention

Avant d'expliciter l'utilisation des mouvements oculaires dans la mesure de l'attention, voici une liste non exhaustive d'autres mesures de l'attention :

- Les tests expérimentaux et neuropsychologiques : plusieurs tests neuropsychologiques sont utilisés pour évaluer les capacités attentionnelles des participants (voir Treviño et al., 2021). Par exemple le test de gradCPT, *gradual-onset continuous performance task*, permet de mesurer l'attention soutenue ou la *Flanker interference task* qui est considérée comme une mesure de l'attention sélective. Toutefois, ces mesures ne permettent pas d'avoir une mesure *on-line* de l'attention lors de la réalisation d'une tâche.
- Le suivi de la souris est une alternative émergente qui permet d'obtenir des informations similaires aux mouvements oculaires à moindre coût et en moins de temps (Mancas & Ferrera, 2016).

- L'EEG, l'IRMf (Imagerie par Résonnance Magnétique fonctionnelle) ou la TMS (stimulation magnétique transcrânienne) qui offrent une mesure objective de l'attention à travers l'activité cérébrale (Mancas & Ferrera, 2016).

2.2. Introduction aux mouvements oculaires

Nos yeux sont en perpétuel mouvement, même lorsque nous pensons qu'ils sont stables sur un objet spécifique, on peut encore y observer des micromouvements (pour éviter l'adaptation des photorécepteurs) qui vont nous permettre de voir c'est-à-dire de capter des différences de luminosité entre des surfaces contigües. En psychologie, nous nous intéressons davantage à des mouvements nettement plus importants. Le tableau 1 présente une synthèse des différents mouvements oculaires et leurs caractéristiques.

Tableau 2.

Les différents mouvements oculaires et leurs caractéristiques.

Type de mouvement	**Description**	**Fonction**
Saccades	Mouvements rapides et brusques des yeux.	Explorer rapidement l'environnement visuel, lire, etc.
Poursuite lente	Mouvements lents et réguliers des yeux.	Suivre un objet en mouvement.
Fixation	Maintien du regard sur un point fixe.	Examiner attentivement un objet.
Mouvements de vergence	Mouvements des yeux dans des directions opposées (convergence ou divergence).	Ajuster la vision pour voir des objets à différentes distances.
Micro-mouvements	Petits mouvements involontaires des yeux (micro-saccades, dérive, tremblements).	Maintien de l'acuité visuelle, prévention de la fatigue oculaire.
Réflexe vestibulo-oculaire (RVO)	Mouvements des yeux compensatoires aux mouvements de la tête.	Stabiliser le regard pendant les mouvements de la tête.

Réflexe optocinétique (ROC)	Mouvements des yeux en réponse à un mouvement du champ visuel.	Stabiliser le regard lors de mouvements de l'environnement.

Les mouvements les plus fréquemment étudiés, notamment dans le cadre de l'apprentissage, sont les saccades et les fixations. Les saccades sont des mouvements rapides des yeux qui permettent de déplacer la fovéa[8] (figure 4) vers un élément. Leur vitesse peut atteindre jusqu'à 500° par seconde. En lecture, par exemple, une saccade de 2° peut être réalisée en 30ms. L'entrée visuelle est considérablement réduite pendant le mouvement de saccade. Les fixations sont les moments de stabilité relative des yeux entre deux saccades durant lesquelles de nouvelles informations sont obtenues (Liversedge & Findlay, 2000). Durant les fixations, l'information visuelle est traitée par le cerveau, c'est pourquoi, dans cette thèse, elles seront principalement étudiées.

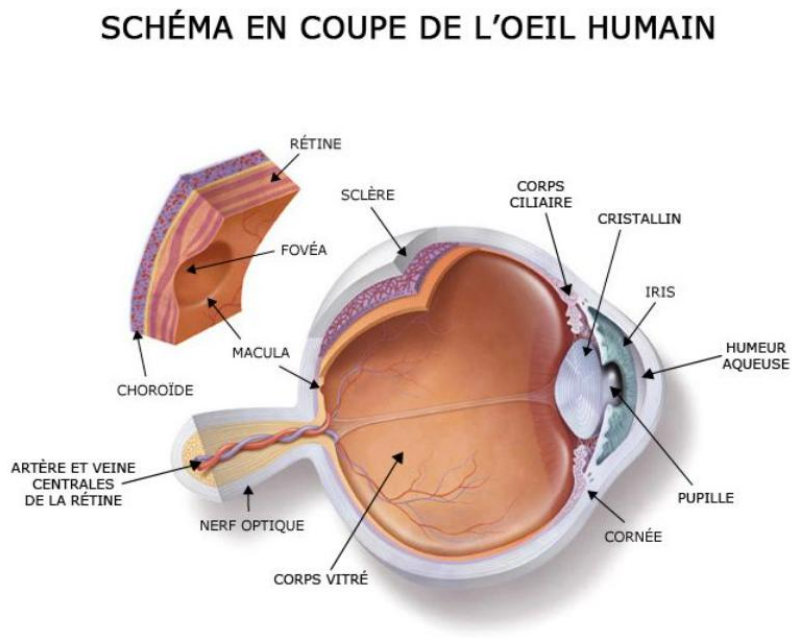


Figure 5. L'œil humain

2.3. Mouvements oculaires comme reflet de l'attention

Pourquoi nous intéressons-nous aux mouvements oculaires ? Comme c'est bien expliqué par Duchowski (2017), nous déplaçons nos yeux pour amener une information

[8] La fovéa est la zone centrale de la rétine, où la concentration en cônes est maximale, permettant ainsi la vision la plus nette et détaillée.

visuelle vers la fovéa où elle pourra être visible en haute résolution. Nous déplaçons aussi notre attention vers cette information qui se trouve maintenant au centre de notre regard pour pouvoir se concentrer et l'analyser en détail. En étudiant les mouvements oculaires, nous pouvons alors suivre le déploiement de l'attention d'un individu et identifier quel élément du champ visuel a le plus attiré son attention. Pour mesurer les mouvements oculaires et les analyser, la technique utilisée est l'oculométrie cognitive. Cette technique permet d'enregistrer et d'analyser les mouvements oculaires d'un individu durant la réalisation d'une tâche et d'inférer ses processus cognitifs sous-jacents (Léger, 2016). Plusieurs études ont utilisé l'oculométrie pour étudier les processus attentionnels en manipulant des facteurs qui sont susceptibles d'influencer le comportement attentionnel des participants.

L'oculométrie a été utilisée dans la recherche visuelle pour mettre en évidence les stratégies utilisées par les participants dans la recherche d'information et les éléments qui peuvent influencer cette recherche. Un exemple d'étude est celui Wang et al. (2023) qui ont étudié l'effet de la nature de distracteurs sur la recherche visuelle d'une cible en mesurant les mouvements oculaires. Les résultats ont révélé que les participants consacraient plus de temps à concentrer leur attention sur les éléments distrayants (de la même couleur que la cible) que sur les éléments non distrayants (d'une couleur différente). Le nombre de saccades vers les éléments distrayants étaient plus élevés ainsi que le temps passé à fixer ces éléments (somme des durées de fixations).

L'oculométrie a aussi été utilisée pour comprendre l'influence des objectifs de la tâche sur les mouvements des yeux. Ceci a été démontré dans l'étude de Yarbus (1967) qui a mesuré les mouvements oculaires de participants pendant qu'ils regardaient un tableau. Les participants devaient répondre à une question spécifique concernant la scène présentée sur les tableaux. Les trajectoires des mouvements oculaires étaient différentes selon la question qui a été posée (figure 5).

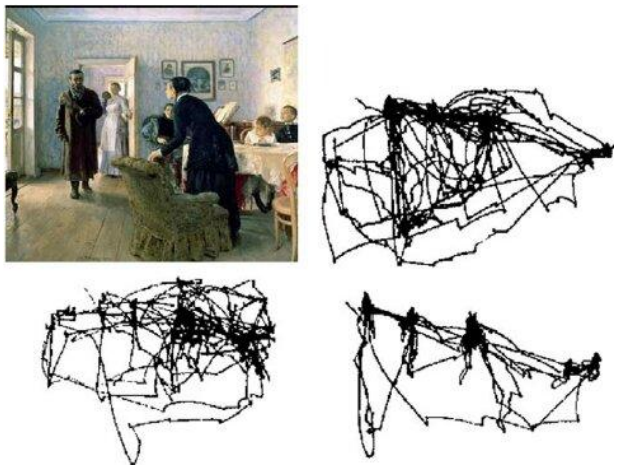


Figure 6. Trajectoires oculaires mesurées par Yarbus (1967). (En haut à droite) Pas de tâche spécifique. (En bas à gauche) Estimer la richesse de la famille. (En bas à droite) Donnez l'âge des personnages du tableau. Image issue de Haji-Abolhassani & Clark (2013)

Dans une étude plus écologique et en contexte académique (Chaudhuri et al., 2022), l'oculométrie a été utilisé pour étudier le lien entre l'attention des enseignants en classe et le niveau de soutien fourni aux élèves. Les résultats ont montré que le nombre de fixations sur les élèves et le matériel d'apprentissage était positivement corrélé avec le soutien que les enseignants fournissaient aux élèves surtout ceux avec des difficultés d'apprentissage.

Ainsi, en capturant les mouvements oculaires, il est possible d'obtenir des informations précieuses sur la façon dont les individus dirigent leur attention et d'établir des liens avec d'autres aspects de leur comportement. Dans la section 2.5 de ce chapitre, nous examinerons l'apport de l'oculométrie à l'étude de l'attention au feedback. Comme ces derniers sont présentés fréquemment sous forme de texte écrit, il convient alors de présenter les mécanismes des mouvements oculaires lors de la lecture. Nous détaillerons aussi les aspects méthodologiques cruciaux à prendre en compte lors de la conception d'une étude utilisant l'oculométrie.

2.4. Mouvements oculaires en lecture

Les informations figurant dans cette section proviennent principalement de la revue de la littérature de Rayner, (1998).

La lecture implique à la fois les fixations et les saccades. La durée moyenne d'une fixation en lecture est entre 200 et 250 ms. La taille moyenne d'une saccade est de 7 à 9 lettres. Les saccades permettent d'amener l'information textuelle dans la fovéa, car la lecture repose principalement sur la vision centrale et non périphérique. La majorité des mots sont fixés en lecture mais l'omission des mots courts et prévisibles est fréquente, en particulier

pour les mots de fonction (déterminants, préposition, pronoms, etc.). Ces derniers ne sont fixés que 35% du temps comparé à 85% du temps pour les mots lexicaux. Pendant la lecture, nous observons aussi des mouvements de régression (vers l'arrière). Ces mouvements peuvent être observés lorsqu'il y'a des difficultés de compréhension.

En lecture, l'empan perceptif correspond à la quantité d'information traitée durant une fixation. L'empan perceptif dépend de l'expertise en lecture (adulte vs enfant, figure 6) et de la langue lue. Il s'étend horizontalement de 3 à 4 caractères à gauche du point de fixation et jusqu'à 15 caractères à sa droite pour les langues lisant de gauche à droite comme le français. Cette étendue montre que les lecteurs peuvent prétraiter les mots situés à droite du point de fixation avant même de les fixer directement.

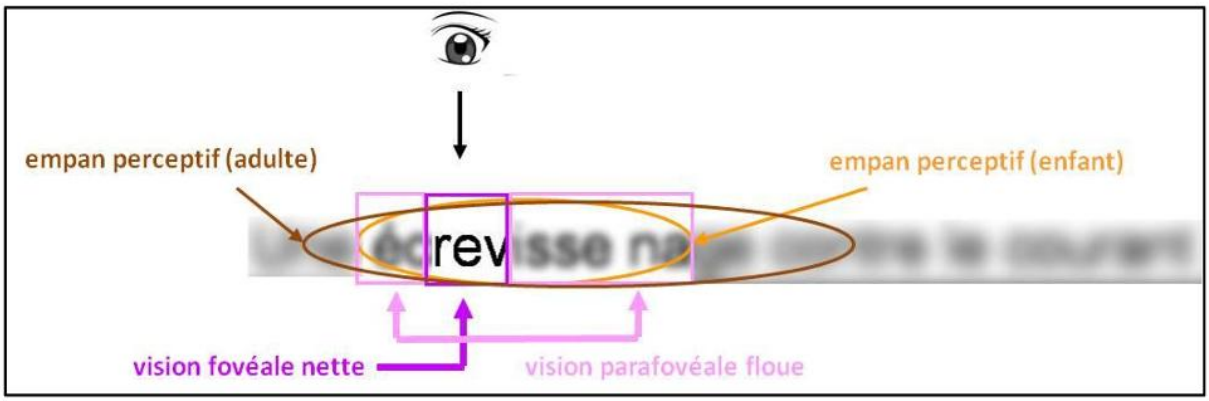


Figure 6. Empan perceptif chez l'adulte et l'enfant (Image issue de Leibnitz et al., 2015).

La durée des fixations et la taille des saccades sont influencées par les différences inter-individuelles. Les durées de fixation peuvent varier de 100 à 500 ms voire descendre jusqu'à 50 ms dans certains cas. La taille des saccades peut quant à elle varier de 1 à 15 lettres. Les mouvements oculaires sont aussi influencés par les caractéristiques du texte, la typographie, la taille des lignes et les espaces entre les lettres.

Les fluctuations observées au niveau des mouvements oculaires sont également le reflet du traitement de l'information en temps réel. La durée des fixations et la taille des saccades dépendent des exigences cognitives de la tâche. Par exemple, les durées de fixations augmentent pendant la lecture de mots non fréquents, les mots ambigus et une syntaxe complexe. Ainsi, les mouvements oculaires ne sont pas seulement des phénomènes moteurs, mais reflètent également les processus cognitifs en jeu pendant la lecture.

2.5. Considérations méthodologiques

L'utilisation de l'oculométrie nécessite de suivre des recommandations pour s'assurer de la fiabilité et de la validité des enregistrements (voir Holmqvist & Andersson, 2017).

a. Avant la récolte des données.

La planification d'une expérimentation qui permet de répondre aux hypothèses annoncées est primordiale. Le matériel doit permettre d'identifier des moments d'intérêt où les mouvements oculaires vont être relevés pour permettre de mettre en évidence un processus en particulier et éviter que le comportement oculaire soit impacté par d'autres facteurs non contrôlés. Comme dans le cas des études de la variabilité de la fréquence cardiaque, il est recommandé d'accorder la priorité aux plans intra-sujet, car les mouvements oculaires dépendent également de l'individu.

b. Préparation des participants et la récolte des données.

Un mouvement excessif peut introduire des artefacts ; l'utilisation d'une mentonnière ou un support de tête est conseillée.

Un processus de calibrage approprié (généralement à l'aide d'une grille de 5 ou 9 points) garantit la précision du suivi de la position du regard. La précision du suivi peut en effet varier en fonction de facteurs tels que la forme des yeux, les déficiences visuelles ou l'utilisation de lentilles de contact.

c. La qualité des données et leur validité

Un niveau élevé de perte oculaire dû par exemple à un clignotement excessif peut compromettre la qualité des enregistrements oculaires. Le retrait des essais avec une perte oculaire élevée (supérieure à 20 ou 10%) peut s'avérer nécessaire.

Pour augmenter les chances de récolter des données exploitables, plusieurs calibrations peuvent être nécessaires, surtout dans le cas d'étude longue.

d. Analyse

Le choix des métriques à analyser dépend des objectifs de la recherche. Les métriques les plus couramment utilisées sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3.

Les différentes métriques de l'analyse des mouvements oculaires.

Variable	**Description**	**Informations fournies**
Nombre de fixations	Nombre total de fois où le regard s'arrête sur une zone	Indique l'intérêt, la complexité, l'effort cognitif
Durée de fixation	Temps passé à fixer une zone	Révèle l'attention, la difficulté, la valeur émotionnelle
Ratio de fixation	Proportion de temps passé à fixer une zone par rapport au temps total	Permet de comparer l'importance relative des zones
Probabilité de fixation	Probabilité qu'une personne fixe un point précis	Indique les points d'intérêts qui attirent le plus
Nombre de saccades	Nombre de mouvements rapides des yeux entre les fixations	Reflète la recherche active, l'exploration visuelle
Amplitude des saccades	Distance parcourue lors d'une saccade entre deux fixations	Suggère le balayage visuel étendu ou l'attention ciblée
Vitesse des saccades	Vitesse des mouvements oculaires pendant une saccade	Communique des informations sur l'effort cognitif, l'efficacité
Parcours de balayage (Scanpath)	Séquence des fixations et des saccades	Révèle les stratégies d'exploration, les préférences
Temps de première fixation	Temps avant la première fixation sur une zone	Signale la saillance visuelle, la pertinence
Retour aux zones d'intérêt	Fréquence des retours sur les zones déjà fixées	Indique la relecture, la comparaison, la réévaluation

Il est important de spécifier les zones d'intérêt où les données relatives aux mouvements oculaires seront analysées, ainsi que les fenêtres temporelles (la durée d'affichage du feedback, par exemple).

2.6. Applications à l'étude des réactions au feedback

Il a été établi que le traitement du feedback est important dans l'apprentissage à partir de l'erreur (ex. Metcalfe, 2017). Pour que le feedback soit traité, les apprenants devraient avant tout diriger leur attention vers ce feedback. Plusieurs études ont essayé de mettre en évidence l'effet du feedback sur l'attention en utilisant la technique de l'oculométrie.
En général, la présence des feedbacks semble être plus bénéfique au maintien de l'attention, comme démontré par Lu et al. (2021). Les participants regardaient des vidéos pédagogiques avec feedback ou sans feedback sur leur compréhension du contenu des vidéos. Les participants qui ont regardé des vidéos avec un feedback ont maintenu leur attention, plus de fixations sur la vidéo, tout au long de la période de visionnage de manière plus efficace que ceux qui n'ont pas reçu de feedback. Ces participants ont aussi démontré des performances d'apprentissage significativement plus élevés que les participants sans feedback. L'étude de Cutumisu et al. (2019) a recruté 30 étudiants en licence pour participer à une expérience sur l'effet des feedbacks positif vs négatif. Les participants devaient créer des posters et recevaient un feedback sur leurs créations. Ils ont relevé le nombre et la durée des fixations. Leurs résultats ont montré que les participants passaient plus de temps à fixer le feedback négatif comparé au feedback positif indiquant qu'une attention plus importante a été allouée au feedback sur l'erreur. Arbel et al. (2020) ont trouvé des résultats similaires dans leur étude où les participants suivaient une tâche d'apprentissage sur la catégorisation. Les données oculaires ont indiqué que l'allocation de l'attention changeait en fonction de la valence du feedback, avec une plus grande probabilité de fixation à la suite d'un feedback négatif.

L'oculométrie est donc une technique fiable qui permet d'étudier la réaction attentionnelle face à un retour d'information lié à une erreur. Des études en oculométrie ont montré que, quelles que soient les caractéristiques individuelles, les feedbacks qui suivent une erreur attirent davantage l'attention que dans le cas d'une réponse correcte. Cependant, des études en potentiels évoquées ont montré que ces réactions dépendent des théories implicites des apprenants. Une question à laquelle cette thèse va essayer de répondre est de savoir s'il

est possible de répliquer cet effet des théories implicites de l'intelligence des apprenants sur le traitement des feedbacks en utilisant l'oculométrie cognitive.

Chapitre 4 : Problématique et vue d'ensemble du manuscrit

1. Problématique

Générer des erreurs peut être bénéfique à l'apprentissage, car elles permettent de renforcer la mémorisation des bonnes réponses, peut déclencher un processus actif d'apprentissage, diriger l'attention vers les informations pertinentes et informer l'apprenant sur les points sur lesquelles il doit se concentrer pour améliorer ses compétences (Metcalfe, 2017). Toutefois, cet effet n'est pas systématique. L'apprentissage à partir des erreurs est complexe et dépend de nombreux facteurs. Ces facteurs agissent à toutes les étapes du processus, depuis la façon dont nous évaluons l'erreur et y réagissons émotionnellement, jusqu'aux comportements et stratégies que nous choisissons, qui peuvent favoriser ou empêcher cet apprentissage (Tulis et al., 2016; Zhang & Fiorella, 2023).

Afin de mieux comprendre pourquoi certains apprenants peuvent bénéficier des erreurs et d'autres non, nous avons choisi de nous baser sur le cadre théorique des théories implicites de l'intelligence. Une théorie qui tente d'expliquer les réactions des individus face aux défis et aux échecs (Dweck & Yeager, 2019). Des études utilisant principalement des mesures de potentiels évoqués ont révélé des différences attentionnelles face à un feedback d'erreur entre les apprenants avec une théorie de l'entité et ceux avec une théorie incrémentielle (Mangels et al., 2006; Moser et al., 2011 ; Puusepp et al., 2021 ; Schroder et al., 2017). Ces différences ont été liées aux performances des apprenants. A notre connaissance, seul Mangels et al. (2006) ont discuté de la réaction affective qui peut accompagner la découverte d'un feedback sur l'erreur. En particulier pour les apprenants avec une théorie de l'entité, les erreurs peuvent être chargées émotionnellement, car celles-ci sont perçues comme le reflet de leurs capacités insuffisantes.

Cette thèse s'appuiera sur des mesures physiologiques, qui permettent d'avoir une mesure plus objective de ces réactions et en temps réel (Ciuk et al., 2015), afin d'examiner les réactions affectives et attentionnelles aux erreurs, en cherchant à répliquer les résultats de la littérature.

La plupart des recherches sur les effets des théories implicites de l'intelligence s'accordent à dire que les théories de l'entité entraînent des réactions moins adaptées face à l'erreur, contrairement aux théories incrémentielles. Cependant, mettre en place des interventions qui visent à modifier les théories implicites de l'intelligence des apprenants vers des théories plus incrémentielles ainsi que leurs bénéfices sur l'apprentissage reste un sujet à débat. L'efficacité de ces mesures reste à questionner, en particulier au vu des résultats de l'étude inédite de Polley (2018, non publiée) mentionnée dans l'article de MacNamara et al. (2023). Cette étude a comparé un groupe d'intervention sur l'état d'esprit de croissance à un groupe témoin. Les deux groupes ont reçu un enseignement sur l'importance des erreurs dans la réussite, la seule différence étant l'enseignement ou non de la malléabilité du cerveau. Les résultats de cette étude n'ont révélé aucune différence de performance entre les deux groupes indiquant que l'effet des interventions *growth mindset* ne dépend pas forcément de l'idée de la malléabilité mais de la relation entretenue avec l'échec et les erreurs.

Cette thèse explorera aussi la possibilité de modifier les réactions des apprenants face à l'erreur sans modifier directement leurs théories implicites de l'intelligence. Deux solutions ont été testées en prenant toujours en considération la réaction affective face au feedback d'erreur et l'attention portée sur ce feedback.

Les hypothèses principales testées dans cette thèse sont les suivantes :

Hypothèse 1 : L'effet des théories implicites de l'intelligence sur les réactions des apprenants face aux différents types de feedback (évaluatif et informatif) consécutifs à une erreur.

En nous basant sur les travaux de Dweck (2006) concernant l'influence des théories implicites de l'intelligence, nous postulons que la manière dont les apprenants réagissent émotionnellement au feedback évaluatif et traitent le feedback informatif après une erreur est influencée par leur théorie implicite de l'intelligence. Plus précisément, et en accord avec les observations de Mangels et al. (2006), nous attendons que les apprenants ayant une théorie de l'entité manifestent des réactions affectives plus marquées face au feedback évaluatif. Inversement, en nous appuyant sur les études de Moser et al. (2011) et Schroder et al. (2017), nous prévoyons que les apprenants ayant une théorie incrémentielle accorderont une plus grande attention aux informations fournies par le feedback informatif dans le but de s'améliorer.

Hypothèse 2 : L'efficacité d'une intervention courte sur les réactions face à l'erreur.

En nous appuyant sur les observations de Macnamara & Burgoyne (2023), nous faisons l'hypothèse qu'une intervention pédagogique brève, spécifiquement conçue pour encourager une vision et une approche positive des erreurs chez les apprenants (sans cibler directement leurs théories implicites), peut améliorer leurs réactions face à l'erreur et faciliter un apprentissage plus efficace à partir de celle-ci. Cette intervention est pensée pour une intégration aisée dans divers contextes d'apprentissage.

2. Vue d'ensemble du manuscrit

Ainsi, l'objectif des travaux menés dans le cadre de cette thèse sont non seulement d'étudier les réactions face à l'erreur des apprenants face à l'erreur, mais aussi de mettre en place de courtes interventions pour permettre à ces apprenants, quelle que soit leur théorie implicite, de réagir d'une manière adaptée qui permettrait un apprentissage à partir de l'erreur.

La suite de ce manuscrit est divisée en deux nouvelles parties : une partie empirique regroupant trois chapitres expérimentaux (Chapitres 5, 6 et 7) présentant les études menées dans cette thèse testant les deux hypothèses posées précédemment et une dernière partie regroupant la discussion (chapitre 8) et la conclusion (chapitre 9).

Le chapitre 5 se présente sous la forme d'un article accepté pour publication dans la revue *Psychologie Française* en octobre 2024. Cet article a permis la validation en français de l'échelle des théories implicites de l'intelligence tournée vers soi. En plus de la validation de cette échelle en français, les croyances sur sa propre intelligence sont comparées aux croyances liées à l'intelligence comme un concept. Leur pouvoir prédictif des buts d'accomplissement est aussi discuté par rapport aux mesures plus généralistes. **Ce chapitre a pour but de présenter la mesure des théories implicites de l'intelligence qui sera utilisée dans le cadre de cette thèse ainsi que sa validité.**

Le chapitre 6 est composé de deux expériences présentées sous format article (actuellement en soumission). Les deux expériences utilisent une tâche d'apprentissage composée de vidéos et de questions de compréhension. Les questions de compréhension sont suivies d'un feedback évaluatif (correcte/incorrecte) puis d'un feedback informatif (indiquant la bonne réponse). La première expérience a comme objectif de différencier les réactions

affectives et attentionnelles des apprenants en fonction de leur théorie implicite de l'intelligence. Plus précisément, la variabilité de la fréquence cardiaque a été utilisée comme indicateur d'une réponse de stress face au feedback évaluatif et l'oculométrie comme indicateur de l'attention portée sur les feedbacks signalant les erreurs. La deuxième expérience teste l'effet d'une introduction sur la fonctionnalité des erreurs sur ces réactions et du choix laissé aux participants d'afficher ou non le feedback explicatif. **Ce chapitre présente alors l'effet des théories implicites de l'intelligence sur les réactions face à l'erreur en utilisant des mesures physiologiques et oculaires ainsi qu'une tentative de modification de ces réactions.**

Le chapitre 7 décrit une expérience qui vise à tester l'efficacité d'une courte intervention basée sur l'autocompassion. Cette intervention a été développée pour modifier la manière dont les apprenants réagissent face à l'erreur, surtout quand celle-ci est mal adaptée à un apprentissage à partir de l'erreur. Cette expérience utilise aussi les mesures de VFC et de mouvements oculaires. **Ce chapitre a donc comme but principal de présenter l'autocompassion comme une intervention qui vise à améliorer la relation des apprenants avec l'erreur et de permettre des réactions positives face à celle-ci.**

Le chapitre 8 présente une discussion générale des résultats des différents chapitres expérimentaux avec les apports de la thèse dans l'étude et la gestion de la prise en compte de l'erreur. Le chapitre 9 conclura ce manuscrit de thèse et proposera une réflexion sur les théories implicites de l'intelligence.

Partie 2. Etudes empiriques

Introduction

Les expériences sont au cœur de la méthode scientifique en psychologie cognitive. Pour atteindre les objectifs de cette thèse, nous avons mené un programme de recherche comprenant plusieurs expériences visant à tester empiriquement nos hypothèses concernant les théories implicites de l'intelligence et leurs liens avec les réactions face à l'erreur.

La première étude, présentée au chapitre 5, est de nature corrélationnelle. Elle a un double objectif : valider psychométriquement une échelle et examiner la relation entre les théories implicites et d'autres concepts psychologiques, notamment les buts d'accomplissement.

Les deux autres études, traitées aux chapitres 6 et 7, adoptent une approche expérimentale. Elles explorent l'impact des théories implicites (variable quasi-indépendante) et des types d'intervention (variable manipulée) sur nos principales variables dépendantes : l'apprentissage à partir de l'erreur, les réactions affectives et les réactions attentionnelles.

Chaque chapitre suit une structure similaire : un préambule rappelant les fondements théoriques et décrivant brièvement l'étude, suivi de l'article détaillant la méthodologie et les résultats, et enfin d'une synthèse.

Chapitre 5 : Mesurer les théories implicites de l'intelligence

1. Préambule

Dans ce travail de thèse, nous nous sommes basés principalement sur le cadre théorique des théories implicites de l'intelligence pour essayer de comprendre les réactions des apprenants face aux erreurs. Deux théories implicites ont été définies : incrémentielle et entité avec chacune des conséquences très opposées sur l'apprentissage, les buts d'accomplissement, la motivation, les performances académiques et ce qui nous intéresse le plus, les réactions face à l'erreur. Pour pouvoir étudier ces réactions et tester si les interventions proposées dans le cadre de cette thèse permettent une meilleure appréhension de l'erreur au regard des théories implicites, il faut d'abord être capable de détecter si les apprenants adhèrent plutôt à une théorie incrémentielle ou à une théorie de l'entité. Se pose alors la question de la mesure.

Les échelles originales de Dweck mesurant les théories implicites de l'intelligence, comme celle développée par Dweck et al. (1995), étaient généralement composées de quatre à huit éléments. Les réponses étaient données sur une échelle de Likert, les scores les plus élevés indiquant une plus grande adhésion à une théorie de l'entité. Des recherches récentes ont développé des versions plus courtes comme l'échelle à deux items de Dweck et Yeager (2019), utilisée pour une évaluation rapide dans le cadre d'études de grande envergure.

Au début du travail de thèse, et à notre connaissance, la seule mesure qui était validée en français de manière psychométrique, était celle de Da Fonseca et al. (2007). C'est une échelle validée auprès d'élèves au collège qui permet de mesurer les théories implicites de l'intelligence et de calculer deux scores : un score pour la théorie incrémentielle et un score pour la théorie de l'entité. Cependant, cette mesure nous a semblé inadéquate pour une population d'étudiants de 1ère année de l'université étudiée dans le cadre de cette thèse. Nous avons alors procédé à la validation psychométrique de l'échelle des théories implicites tournées vers soi, traduite en français de l'échelle originalement en anglais de De Castella & Byrne (2015). Cette mesure est différente des autres mesures des théories implicites de

l'intelligence parce qu'elle se centre sur comment les individus perçoivent leur propre intelligence et non l'intelligence d'un point de vue général. Cette mesure s'est avérée être un meilleur indicateur des buts d'accomplissement comparé aux mesures des théories implicites de l'intelligence en général (De Castella & Byrne, 2015).

Afin de procéder à la validation psychométrique de cette échelle en français pour des étudiants de premier cycle, nous avons suivi les recommandations psychométriques en s'assurant de la validité et la fidélité de l'échelle. Pour rappel, la validité fait référence à la précision avec laquelle une échelle mesure bien ce qu'elle est censée mesurer et la fidélité à la cohérence et à la stabilité des résultats. La validation de cette échelle s'est appuyée sur les réponses de 2614 étudiants de 1ère année de l'université. La fidélité a été évaluée à l'aide de l'alpha Cronbach (1951) et de l'oméga de McDoncald (1985) qui examinent la cohérence interne des items de l'échelle. Des coefficients élevés indiqueraient que les différents items mesurent de manière cohérente le même construit sous-jacent. Pour évaluer la validité, nous avons eu recours à plusieurs approches. Premièrement, une analyse factorielle exploratoire (AFE) a été conduite afin d'examiner la structure dimensionnelle de l'échelle. Ensuite, une analyse factorielle confirmatoire (AFC) a été réalisée pour tester l'adéquation du modèle factoriel aux données recueillies. Deuxièmement, la validité de construit a été explorée en examinant les corrélations entre notre échelle et l'échelle de Da Fonseca et al. (2007). Des corrélations positives et significatives soutiendraient la validité convergente de notre échelle. Troisièmement, nous avons évalué la validité nomologique en analysant les corrélations entre les scores de notre échelle et les buts d'accomplissement, mesurées par l'échelle de Darnon & Butera (2005). Les patrons de corrélations attendus, basés sur le cadre théorique des théories implicites, fourniraient des preuves supplémentaires de la validité de notre échelle.

L'article, accepté pour publication dans la revue Psychologie Française, présente plus en détails les différentes étapes suivies qui ont permis la validation psychométrique de l'échelle des théories implicites tournées vers soi en langue française.

2. Article

Échelle des théories implicites l'intelligence tournées vers soi (TIIS) : validation psychométrique en langue française auprès d'une population étudiante.

The implicit theories of Self-Oriented Intelligence scale: a French psychometric validation among undergraduate students

AHMIDA Mariyem [(1)], LEGER Laure [(1)] et FENOUILLET Fabien [(1)]

[(1)] Laboratoire Interdisciplinaire en Neurosciences, Physiologie et Psychologie : Apprentissages, Activité physique, Santé (LINP2-2APS)

Résumé

Introduction : Les théories implicites de l'intelligence sont depuis longtemps étudiées en tant que prédicteurs de la réussite académique.
Objectif : Cette étude procède à la validation psychométrique, en langue française, pour une population d'étudiants universitaires, d'une échelle de conception implicite de sa propre intelligence, adaptée de l'échelle mise en place par De Castella et Byrne (2015).
Méthode : La version traduite de l'échelle de De Castella et Byrne (2015) a été remplie par plus de 1000 étudiants inscrits en première année de licence, conjointement à une autre échelle de conception de l'intelligence générale (Da Fonseca et al., 2007) et de buts d'accomplissement (Darnon & Butera, 2005) afin d'évaluer sa validité convergente et concourante.
Résultats : Les analyses réalisées nous permettent d'évaluer positivement les qualités psychométriques de cette version traduite. Les analyses factorielles confirment une structure à 2 facteurs : l'intelligence vue comme une entité (fixe) et l'intelligence vue comme incrémentielle (malléable). Les corrélations avec les buts d'accomplissement attestent de la validité convergente de l'échelle. La différence entre la conception de l'intelligence générale et les théories implicites tournées vers soi montre que les étudiants ont une conception plus incrémentielle de leur intelligence que de l'intelligence générale.
Conclusion : Les différentes analyses menées permettent de valider l'utilisation de cette version traduite pour déterminer les conceptions implicites de l'intelligence tournée vers soi des étudiants de langue française qui débutent un cursus universitaire de licence.
Mots clés : théories implicites, buts d'accomplissement, échelles de mesure

Abstract

Introduction: Implicit theories of intelligence have long been studied as predictors of academic success.
Objective: This study aims to validate the psychometric properties of a scale measuring implicit conceptions of one's intelligence in French, for a population of university students. The scale was adapted from De Castella and Byrne (2015).
Method: The translated version of the De Castella and Byrne (2015) scale was completed by more than 2000 students enrolled in the first year of a bachelor's degree program, along with another scale of conception of general intelligence (Da Fonseca et al., 2007) and achievement goals (Darnon & Butera, 2005) to assess its convergent and concurrent validity.
Results: The analyses allowed us to evaluate the psychometric qualities of this translated version positively. Factor analyses confirm a 2-factor structure: intelligence perceived as a fixed entity and intelligence perceived as incremental (malleable). The correlations with achievement goals attest to the convergent validity of the scale. The difference between the conception of general intelligence and self-directed implicit theories shows that students have a more incremental view of their intelligence than general intelligence.
Conclusion: The various analyses validate the use of this translated version to determine the implicit conceptions of self-directed intelligence of French-speaking students who are beginning a university bachelor's degree curriculum.
Keywords: implicit theories, achievement goals, measurement scales.

1. Introduction

Étudier l'apprentissage à différents moments de la vie (enfance, adolescence, adulte) peut nécessiter de s'intéresser aux croyances des apprenants sur leurs perspectives d'amélioration. Une de ces croyances est liée à leur représentation de l'intelligence comme étant fixe ou malléable. Selon qu'il considère que ses compétences sont modifiables ou non, l'apprenant pourra être prêt à faire plus ou moins d'efforts pour apprendre ou réussir. Les échelles classiquement utilisées aujourd'hui en langue française pour évaluer la conception implicite de l'intelligence questionnent l'individu du point de vue de l'intelligence en général (Da Fonseca et al., 2004 ; Godard et al., 2023). Mais la conception qu'on peut avoir sur l'intelligence d'un point de vue général peut être différente de la façon dont on envisage sa propre intelligence (De Castella & Byrne, 2015) et peut être ainsi plus fortement reliée aux stratégies, aux efforts à mettre en œuvre pour atteindre ses objectifs d'apprentissage. Cette étude examine la validité psychométrique d'une échelle de conception de l'intelligence orientée vers soi chez une population française d'étudiants de première année de licence.

1.1.Les théories implicites de l'intelligence

Les théories implicites de l'intelligence renvoient aux croyances que les individus ont de la malléabilité de l'intelligence. Deux conceptions sont classiquement décrites (Dweck & Leggett, 1988) : une théorie de l'entité pour qui l'intelligence est une caractéristique fixe, non contrôlable et une théorie incrémentielle qui définit l'intelligence comme une qualité malléable qui peut s'améliorer. Les deux théories implicites, de l'entité et incrémentielle, ont un impact sur les performances académiques des étudiants (Costa & Faria, 2018) et plus précisément avoir une théorie incrémentielle de l'intelligence semblerait avoir plus d'effet positif sur les performances académiques. Les deux théories, incrémentielle et de l'entité, sont liées à la réussite des étudiants dans des domaines d'apprentissage spécifiques (par exemple en mathématiques ou en français), mais l'association de la théorie incrémentielle avec la réussite dans ces domaines spécifiques est plus importante que l'association entre la théorie de l'entité et la réussite dans ces domaines. En outre, seule la théorie incrémentielle est associée à la réussite académique en général (Costa & Faria, 2018). En effet, les deux théories implicites sont des cadres qui vont orienter l'interprétation des événements et les actions des individus ; selon la théorie implicite de l'intelligence les étudiants vont se comporter différemment dans un contexte académique ce qui influencera différemment leurs performances (Molden & Dweck, 2006). Les croyances liées à la nature de l'intelligence vont

donc déterminer le comportement des étudiants dans une situation d'apprentissage (Dweck, 1986) comme le choix des buts d'accomplissement qu'ils vont poursuivre. Ces buts se définiraient à partir du croisement de deux dimensions : maîtrise/performances et approche/évitement (Elliot & McGregor, 2001, Elliot et al., 2011). Les buts de maîtrise sont orientés sur le développement de ses compétences. Avoir un but de performances consisterait à chercher à démontrer ses compétences, en étant meilleur que les autres ou que ses propres performances obtenues dans le passé. Un but d'approche consiste à rechercher des situations dans lesquelles l'individu pourra développer sa compétence (but orienté sur la tâche) ou bien la démontrer (but orienté sur la comparaison centrée sur soi ou les autres). Au contraire un but d'évitement consistera à éviter les situations pouvant montrer une incompétence ou un échec que ce soit sur la maîtrise de la tâche, ou par rapport à d'anciennes performances ou aux performances des autres (Elliot et al., 2011). Ainsi en fonction du but d'accomplissement de l'apprenant les stratégies d'apprentissage, les efforts et la persistance investis dans la tâche vont différer (Darnon & Butera, 2005 ; McGregor & Elliot, 2002).

Comme les élèves avec une théorie de l'entité considèrent que leurs performances scolaires sont une preuve de leurs capacités et attribuent de faibles performances scolaires à un manque de compétences, ils vont avoir tendance à s'orienter vers des buts qui leur permettent de mettre en avant leurs compétences, les buts de performance (Costa & Faria, 2018). A l'inverse, les élèves avec une théorie incrémentielle considèrent leur échec comme des opportunités pour réfléchir sur la manière de s'améliorer et vont avoir tendance à poursuivre des buts qui leur permettent d'apprendre et développer leurs compétences, les buts de maîtrise (Robins & Pals, 2002). Plus précisément, les théories incrémentielles de l'intelligence sont les seules à être positivement corrélées avec les buts d'approche de maîtrise (Liu, 2021), des buts qui prédisent l'effort et le progrès (Katz-Vago & Benita, 2023) ainsi que des réactions positives face à l'erreur (Tulis et al., 2018) tandis que les théories de l'entité sont négativement corrélées avec les buts d'approche de maîtrise et positivement corrélées aux 3 autres buts, approche de performance, évitement de performance et évitement de maîtrise (Howell & Buro, 2009).

De ce fait, plusieurs études ont montré les effets positifs des théories incrémentielles de l'intelligence sur la résilience, la persévérance face à l'échec, le plaisir ressenti durant une tâche et la réussite académique (voir Martin et al., 2017 pour un résumé). En raison de ses impacts positifs potentiels, plusieurs interventions ont été créées dans le but de modifier la conception des élèves vers une conception plus incrémentielle de l'intelligence (Dweck &

Yeager, 2019). L'efficacité de ces interventions est encore controversée. Selon Sisk et al. (2018), l'effet de ces interventions peut être considéré comme faible voire nul mais Yeager et al. (2019) soutiennent que les interventions peuvent être efficaces pour les élèves les plus en difficulté. Dans leur dernière revue de la littérature et méta-analyse, Burnette et al. (2023) conseillent, pour répondre à la question de l'impact des interventions incrémentielles de mesurer au minimum l'effet de ces interventions sur les théories implicites de l'intelligence des élèves, ce qui soulève la question de la mesure de ces théories implicites.

1.2. Les mesures des théories implicites de l'intelligence en langue française

La plupart des études menées en langue française utilisent une traduction française d'échelles dont la validation psychométrique a été réalisée dans d'autres langues pour mesurer les théories implicites de l'intelligence. On peut citer l'exemple de l'étude de Doucet et al. (2020) qui ont examiné le lien entre les théories de l'intelligence et la perception de compétences. Ces auteurs ont utilisé une traduction de l'échelle de Dweck et Henderson (1989) pour évaluer la théorie incrémentielle de l'intelligence. C'était le cas aussi des études de Parada et Verlhiac (2022) qui ont utilisé une traduction de l'échelle de Paunesku et al. (2015) pour mesurer les théories implicites d'étudiants dans le cadre d'une intervention. En plus d'une simple traduction de l'échelle, Dupeyrat et Mariné (2005) ont testé la structure factorielle d'une échelle adaptée à partir de Hong et al. (1995). Cette échelle, dont le but était de mesurer les théories implicites d'adultes en reprise d'études, comprenait 5 items mesurant la théorie de l'entité et 4 items mesurant la théorie incrémentielle de l'intelligence. Les analyses factorielles effectuées ont révélé une structure à deux facteurs. L'échelle en français de Da Fonseca et al. (2007) comporte aussi deux facteurs (entité vs incrémentielle). Cette échelle se compose de 6 items et sa validité psychométrique a été réalisée auprès de collégiens ce qui rend problématique son utilisation auprès d'étudiants de l'université. Godard et al. (2023) ont procédé à la validation psychométrique en langue française d'une échelle des théories implicites de l'intelligence auprès d'une population de jeunes adultes, étudiants compris. Contrairement aux échelles précédentes, celle-ci est unidimensionnelle. Elle comprend 3 items mesurant la théorie de l'entité et 3 items mesurant la théorie incrémentielle. Les scores aux items théorie de l'entité sont alors inversés pour calculer un score qui représente à quel point un individu adhère à une conception incrémentielle de l'intelligence.

Toutes les échelles mentionnées ci-dessus mesurent les théories implicites de l'intelligence comme concept abstrait et général. L'intelligence peut être jugée différemment si les items portent sur sa propre intelligence. En effet, dans leur étude visant à vérifier la validité

psychométrique de l'échelle originale des théories implicites tournées vers soi, De Castella et Byrne (2015) ont trouvé que les croyances des étudiants sur leur propre intelligence différaient de leurs croyances sur l'intelligence en général.

1.3. Les théories implicites de l'intelligence tournées vers soi

Les théories implicites tournées vers soi concernent les théories personnelles sur ses propres capacités. L'étude de De Castella et Byrne (2015) avait pour but de comparer les croyances des étudiants sur l'intelligence en général et leur propre intelligence. Cette étude a aussi permis de tester la validité psychométrique de l'échelle des théories implicites tournées vers soi en anglais. L'échelle a été adaptée de Dweck (1999) en modifiant les 8 items pour qu'ils soient tournés vers sa propre intelligence et non l'intelligence en général. Les liens entre les théories implicites de l'intelligence et les buts d'accomplissement, la réussite académique, le désengagement, l'absentéisme, l'auto-handicap ainsi que la résignation ont été étudiés pour s'assurer du pouvoir prédictif de la nouvelle échelle. Même si les résultats des analyses factorielles ont mis en évidence une structure factorielle à deux facteurs, les scores aux items mesurant la théorie incrémentielle ont été inversés pour calculer un score global reflétant la théorie de l'entité. L'échelle présentait une bonne consistance interne (α=.90). La théorie de l'entité tournée vers soi était corrélée négativement avec les buts de performance d'approche et d'évitement ainsi que les buts d'approche de maîtrise et la réussite académique. Elle était positivement corrélée avec l'auto-handicap, le désengagement, la résignation et l'absentéisme. Les résultats de cette étude ont montré que les croyances concernant sa propre intelligence étaient différentes des croyances sur l'intelligence en général. Les participants avaient tendance à juger leur intelligence comme étant plus malléable que l'intelligence en général. Les résultats ont aussi montré que les théories implicites de l'intelligence tournées vers soi expliquaient une plus grande part de variance des buts d'accomplissement, que ne l'expliquaient les théories implicites de l'intelligence en général. Mesurer les théories implicites de l'intelligence tournées vers soi est donc important dans la mesure où celles-ci peuvent être différentes des croyances des étudiants sur l'intelligence en général et qu'elles expliquent une part de variance des buts d'accomplissement des étudiants qui en découlent qui peut ne pas être expliquée par les théories implicites de l'intelligence en général. Comme De Castella et Byrne (2015, p. 260) concluent dans leur discussion, « Savoir que le changement est possible n'est pas la même chose que croire personnellement en sa capacité à changer ».

L'échelle de De Castella et Byrne (2015), dans sa version originale, a été utilisée dans l'étude de Janssen et al. (2022) dont les résultats étaient cohérents avec la littérature sur les théories implicites de l'intelligence. Les théories incrémentielles de l'intelligence tournées vers soi étaient positivement associées avec de meilleures notes en mathématiques et les étudiants avec une théorie incrémentielle faisaient le choix de travailler sur des exercices difficiles ce qui montrent qu'ils croient en leur capacité d'apprendre.

1.4. Objectif de l'étude

L'objectif principal de cette étude est de valider les propriétés psychométriques d'une échelle de conception implicite de l'intelligence tournée vers soi, en langue française, pour une population d'étudiants inscrits en première année de licence dans une université française, en s'appuyant sur la méthodologie mise en place par De Castella & Byrne (2015) pour la création de leur échelle. Pour ce faire, l'échelle de De Castella et Byrne (2015) a été traduite et administrée conjointement à des versions en langue française d'une échelle des théories implicites d'intelligence en général (Da Fonseca et al. 2007) et d'une échelle des buts d'accomplissement (Darnon & Butera, 2005). Nous nous attendons donc à retrouver les mêmes résultats que De Castella et Byrne (2004) : une corrélation entre les différents scores de conception de l'intelligence (entité et incrémentielle), en général et tournée vers soi, et des corrélations entre les différents scores de conception de l'intelligence et les buts d'accomplissement : les individus avec une théorie de l'entité devraient avoir tendance à adopter des buts de performances (approche ou évitement) ou d'évitement de maîtrise alors que les individus avec une théorie incrémentielle devraient poursuivre des buts d'approche de maîtrise (Blackwell et al., 2007, Chen & Pajares, 2010, Cury et al., 2006 ; Da Fonseca et al., 2004 ; De Castella & Byrne, 2015 ; Liu, 2021 ; Robins & Pals, 2002). Une différence entre les conceptions de l'intelligence en général et les conceptions tournées vers soi devrait être observée. Les apprenants devraient avoir une conception plus incrémentielle de leur propre intelligence que de l'intelligence en général (De Castella & Byrne, 2015). Les théories tournées vers soi devraient être plus prédictives des buts d'accomplissement des apprenants que les théories en général.

2. Méthode

2.1. Participants

5632 étudiants de 1ère année de licence, à l'université XXXX en zone urbaine, étaient inscrits au cours où ont été diffusés les questionnaires mais seulement 2614 étudiants ont répondu aux

questionnaires. Les réponses des étudiants mineurs ont été retirées de l'échantillon ainsi que celles des étudiants n'ayant pas répondu à tous les items de toutes les échelles (seules les réponses complètes ont été conservées). L'échantillon final est constitué de 1069 participants, composé de 784 femmes (73%) avec une moyenne d'âge de 20.42 ans (écart-type = 6.05, min = 18, max = 67). Les filières des étudiants étaient les suivantes présentées par ordre décroissant : Psychologie (20%), Langues (8.6%), Économie et Gestion (7.7%), Sciences sociales (7%), Administration économique et sociales (6.8%), STAPS (6.2%), Droit (4.4%), Histoire de l'art et Archéologie (4.4%), Humanités (4.4%), Philosophie (4.2%), Lettres (3.5%), Arts du spectacle (2.5%), Sciences de l'éducation (2.4%), Sciences de l'homme (2.3%), Géographie et Aménagement (1.5%), Sciences du langage (1.4%), Sciences politiques (1.2%), Santé et Société (1.2%) et Information-Communication (1%).

2.2. Procédure et instruments

Le relevé et le traitement des données à caractère personnel ont été approuvés par le Data Protection Officer (DPO) de l'université.

Les questionnaires ont été intégrés dans la plateforme Moodle de l'université dans un cours centré sur les Méthodes de Travail Universitaire. Les étudiants étaient libres de les remplir quand ils le désiraient (jusqu'à une date limite, fin septembre de l'année en cours, 2022), à leur rythme. Il n'y avait pas d'ordre pré établi, les étudiants pouvaient répondre aux questionnaires dans l'ordre qu'ils souhaitaient. Tous les étudiants qui remplissaient ces questionnaires ont donné leur consentement pour que les données puissent être exploitées dans le cadre d'un projet de recherche sur les stratégies d'études des étudiants inscrits en première année de licence. Il leur a été par ailleurs indiqué que l'analyse et l'exploitation des données respectaient l'anonymat des répondants.

Théories Implicites de l'intelligence en général (TIIG). Reprise de l'échelle de Da Fonseca et al. (2007), constituée de 6 items à évaluer sur une échelle de Likert en 7 points (1 = Pas du tout d'accord ; 7 = Tout à fait d'accord) : 3 pour la théorie de l'entité (α = .65), 3 pour la théorie incrémentielle (α = .74).

Théories Implicites de l'intelligence tournées vers soi (TIIS). Les items de la TIIS ont été traduits en français, à partir de la version anglaise fournie par De Castella et Byrne (2015), selon la procédure de validation transculturelle (Vallerand, 1989) et retraduits en anglais pour vérifier que le sens des items restait correct (Brislin, 1986). Deux traducteurs ont donc proposé une traduction de l'échelle de l'anglais au français. A partir de ces traductions une troisième personne du domaine de la psychologie a proposé une dernière traduction. Une rétro

traduction en anglais a été ensuite réalisée par une personne bilingue pour vérifier que les items restaient fidèles à leur sens. L'échelle est composée de 8 items à évaluer sur une échelle de Likert en 6 points (1 = pas du tout d'accord ; 6 = tout à fait d'accord) : 4 pour la théorie de l'entité, 4 pour la théorie incrémentielle. Conformément à l'étude de De Castella et Byrne (2015), trois scores sont calculés : un score de la théorie incrémentielle, un score de la théorie de l'entité et un score global obtenu en inversant les items de la théorie incrémentielle et en les combinant avec les items de la théorie de l'entité. Ce dernier score global reflète à quel point les participants adoptent une théorie de l'entité de l'intelligence par rapport à une théorie incrémentielle. Les scores sont obtenus en moyennant les scores aux différents items.
Buts d'accomplissement. La version française de l'échelle des buts d'accomplissement de Elliot et McGregor (2001) a été utilisée (Darnon & Butera, 2005). Elle comporte 12 items à évaluer sur une échelle de Likert en 7 points (1 = Pas du tout vrai pour moi à 7 = tout à fait vrai pour moi) : 4 items pour les buts d'approche de performance (α = .91), 4 pour les buts d'évitement de performance (α = .64), 4 pour les buts d'approche de maîtrise (α = .81) et 4 pour les buts d'évitement de maîtrise (α = .78).
Les différentes échelles sont disponibles en annexe.

2.3. Analyse des données

Les analyses ont été réalisées avec le logiciel R (v4.3.3; R Core Team, 2024). Les analyses factorielles ont été réalisées à l'aide du package EFAtools 0.4.4 (Lorenzo-Seva et al., 2023) et psych 2.3.9 (Revelle, 2017). L'échantillon a été divisé aléatoirement en deux sous-échantillons de taille égale (n_1 = 534, n_2 = 535). Les analyses exploratoires ont été effectuées sur le premier sous-échantillon et les analyses confirmatoires sur le deuxième sous-échantillon. Les valeurs seuil des indicateurs suivants, RMSEA ≈.06, SRMR ≈.08, CFI ≈.95, and TLI ≈.95 (Hu & Bentler, 1999), ont été utilisées pour tester l'ajustement des modèles. La normalité multivariée de l'échantillon n'étant pas respectée, l'estimateur MLR (maximum de vraisemblance avec erreurs-types robustes) a été utilisé pour les analyses confirmatoires.
Des corrélations entre les scores de l'échelle TIIS et les scores de l'échelle TIIG et entre les scores de l'échelle TIIS et les scores de l'échelle mesurant les buts d'accomplissement ont été réalisées pour tester la validité convergente de l'échelle TIIS. En se référant aux coefficients d'asymétrie et d'aplatissement (Kurtosis) des différents scores (Kim, 2013), leurs distributions peuvent être considérées comme normales. Le coefficient de corrélation de Pearson a été donc utilisé. La méthode de Bonferroni a été utilisée pour corriger le seuil de significativité pour les comparaisons multiples. Pour pouvoir comparer les Théories implicites

de l'intelligence tournées vers soi et les Théories implicites de l'intelligence en général, ces scores ont été normalisés[9] pour les ramener à une échelle commune allant de 0 à 1 (Cohen et al., 2003) avant de réaliser des tests de Student pour échantillons appariés. Cela permet de les comparer sur une étendue commune (min = 0 et max = 1). Pour tester le pouvoir prédicteur des théories implicites de l'intelligence tournées vers soi et le comparer aux théories implicites en général, des régressions linéaires ont été calculées en utilisant la fonction lm du package stats 4.3.3 (R Core Team, 2024) avec le package lm.beta 1.7.2 (Behrendt, 2023) pour calculer les coefficients standardisés. La fonction *scale()* a permis de standardiser les deux prédicteurs étudiés. Pour connaître la part de chaque type de théories implicites dans la variance expliquée, le package relaimpo (Grömping, 2007) a été utilisé.

3. Résultats

3.1. Sensibilité

Un examen des statistiques descriptives (tableau 1) nous permet de considérer que la distribution des données ne s'écarte pas sensiblement de la normalité, les coefficients d'aplatissement (Kurtosis) et d'asymétrie étant inférieurs à 2 (Kim, 2013).

Tableau 1

Statistiques descriptives des différents items de l'échelle

Item	Moyenne	Ecart-Type	Asymétrie	Kurtosis
Entité1	2.24	1.21	1.03	.75
Entité2	2.23	1.24	.86	.27
Entité3	2.30	1.26	.97	.47
Entité4	2.66	1.39	.62	-.44
Entité-S	2.31	1.12	.98	.78
Incrémentielle1	4.71	1.17	-.85	-.47
Incrémentielle2	4.66	1.17	-.74	.26
Incrémentielle3	4.43	1.26	-.56	-.27
Incrémentielle4	4.55	1.25	-.72	.08
Incrémentielle-S	4.55	1.11	-.68	.29
Global-S	2.29	1.02	.95	.96

Note. Echelle variant de 1 à 6.

[9] Formule de normalisation : $score\ normalisé = \frac{X - min}{\max - min}$

La distribution des scores « Incrémentielle-S » et « Entité-S» est représentée sur la figure 1 et la distribution du score « Global-S » sur la figure 2.

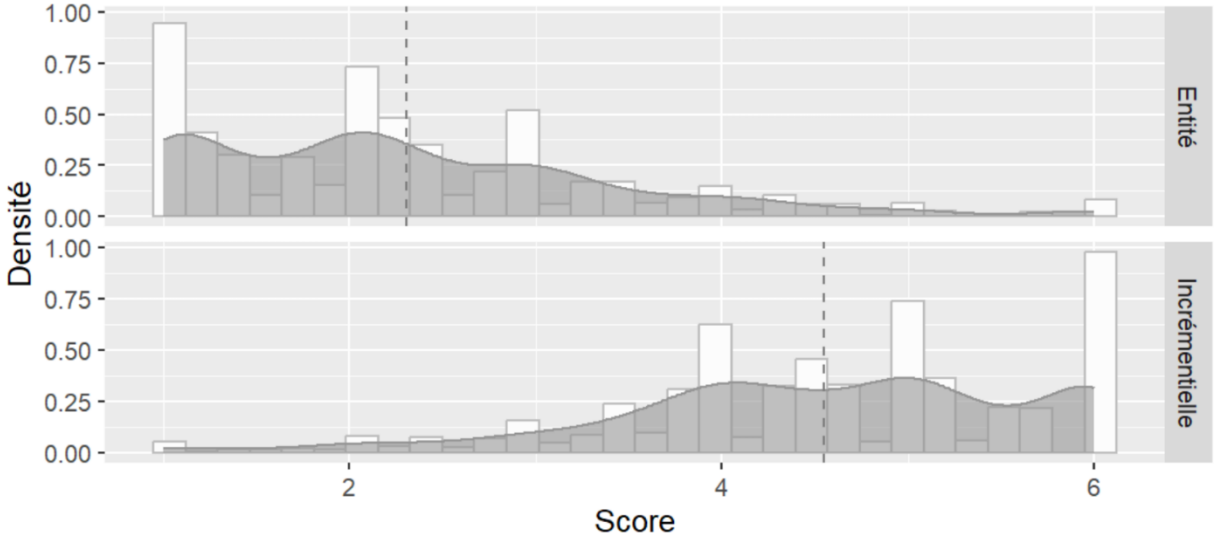


Figure 1. Distribution des deux scores entité et incrémentielle.

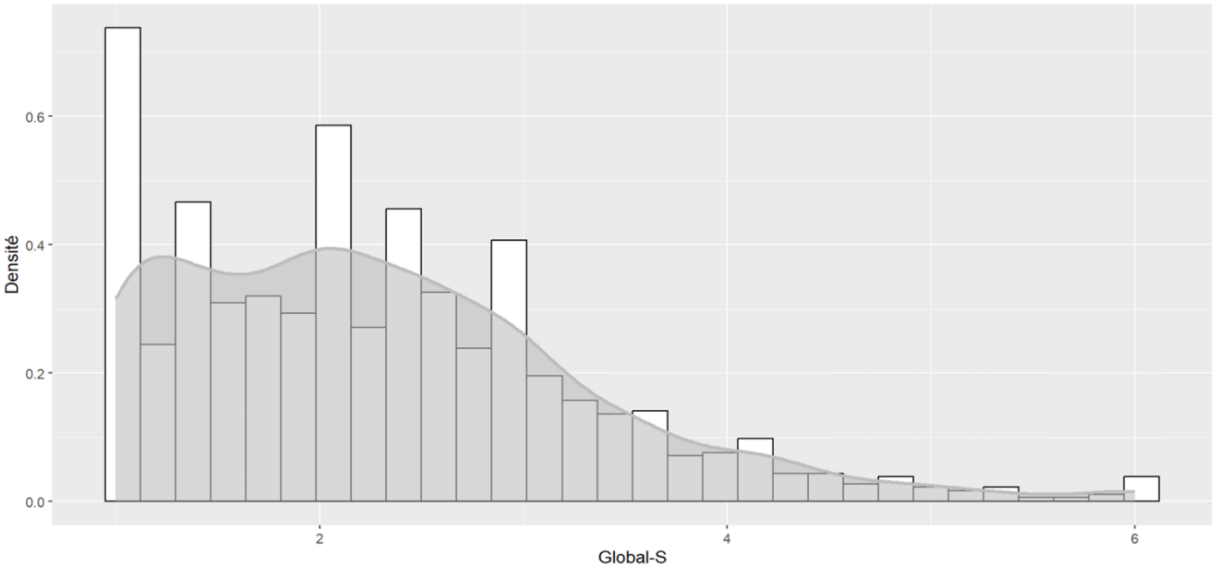


Figure 2. Distribution du score global des théories implicites de l'intelligence tournées vers soi.

La moyenne et l'écart type du score total sont similaires à la moyenne et l'écart type rapportés par De Castella et Byrne (2015). Dans leur étude, la moyenne était égale à 2.69 et l'écart-type à 1.08.

3.2. Fidélité

L'alpha de Cronbach a été utilisé pour évaluer la consistance interne de l'échelle. La sous-échelle *entité* a un alpha de Cronbach égale à α = .90 tandis que la sous-échelle *incrémentielle* présente un alpha de Cronbach de α = .91. L'oméga total de l'échelle globale

est ω = .95. L'alpha de Cronbach est égal à α = .95, une valeur qui est similaire à la valeur reportée dans l'étude de De Castella et Byrne (2015) à savoir α = .90.

3.3. Validité

3.3.1. Validité factorielle

Le test de sphérité de Bartlett (χ^2 (28) = 3754.641, $p < .05$) indique que la structure corrélationnelle est adéquate pour les analyses factorielles. La mesure de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO = .91) a aussi permis de vérifier l'adéquation des données pour les analyses présentées ci-dessous.

Pour déterminer le nombre de facteurs à conserver, une analyse parallèle a été conduite en utilisant 1000 ensembles de données aléatoires simulées dont les valeurs propres ont été comparées aux valeurs propres réelles de données de l'étude. Les valeurs propres ont été déterminées sur la base d'une analyse factorielle exploratoire (EFA). Le résultat de l'analyse parallèle indique deux facteurs à extraire. Le tracé de progression des valeurs propres (figure 3) indique un point d'inflexion entre le deuxième et le troisième facteur ce qui valide le choix de deux facteurs à extraire.

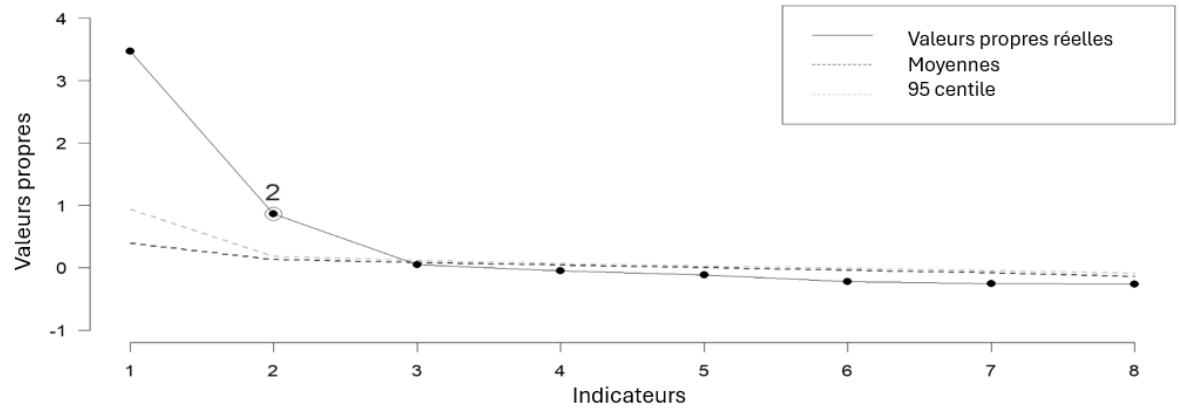


Figure 3. Tracé de progression des valeurs propres.

La solution à deux facteurs correspond au modèle proposé par De Castella et Byrne (2015) composé d'un premier facteur qui représente la théorie de l'entité orientée vers soi et d'un deuxième facteur qui représente la théorie incrémentielle orientée vers soi. Pour tester la structure factorielle à deux facteurs, une analyse factorielle exploratoire (analyse en facteurs communs et spécifiques) a été réalisée en utilisant la méthode de factorisation par axes principaux et la rotation oblique. Le résultat de cette analyse indique que les saturations pour chaque facteur sont supérieures à .40 ; un seuil suffisant pour estimer que l'item corrèle avec la dimension (Rattray & Jones, 2006). Ce modèle à deux facteurs exprime 65% de la variance

des items. Le premier facteur (Entité1, Entité2, Entité3, Entité4) représente 30% de la variance totale. Le deuxième facteur (Incrémentielle1, Incrémentielle2, Incrémentielle3, Incrémentielle4) représente 35% de la variance totale.

Tableau 2

Résultats de l'analyse exploratoire.

Solutions factorielles	2 facteurs	
Facteurs	1	2
Entité1	**.61**	-.21
Entité2	**.90**	.06
Entité3	**.92**	.02
Entité4	**.59**	-.24
Incrémentielle1	-.09	**.72**
Incrémentielle2	.01	**.87**
Incrémentielle3	.04	**.85**
Incrémentielle4	-.03	**.84**
Valeurs propres après rotation	2.39	2.81
% variance proportionnelle	29.9	35.2
% variance cumulée	65.1	35.2

Note. Méthode des axes principaux et avec rotation oblique geomin pour la solution en deux facteurs.

Une analyse confirmatoire a été réalisée pour vérifier la validité du modèle à deux facteurs. Le modèle à deux facteurs (mod2) a été comparé à un modèle à un facteur (mod1).

Tableau 3

Indicateurs d'ajustement des deux modèles testés.

Modèles	$\chi 2$	ddl	p	RMSEA [90% CI]	SRMR	CFI	TLI
Mod1	423.265	20	<.001	.230[.211-.249]	.157	.656	.518
Mod2	63.314	19	<.001	.075 [.055-.095]	.045	.966	.949

Note. Mod 1 : modèle à 1 facteur, Mod2 : modèle à 2 facteurs.

En se basant sur les indicateurs présentés dans le tableau 3, le modèle à deux facteurs s'ajuste mieux aux données que le modèle à un facteur. Ainsi, le modèle à deux facteurs (entité et incrémentielle) est retenu.

3.3.2. Validité convergente et concourante

Deux scores ont donc été calculés ; un score qui représente la théorie de l'entité tournée vers soi (Entité-S) et un deuxième score qui représente la théorie incrémentielle tournée vers soi (Incrémentielle-S). En se basant sur Castella et Byrne (2015), un score global (Global-S) a aussi été calculé. Les scores aux items liés à théorie incrémentielle ont été inversés et combinés avec les items liés à la théorie Entité. Plus le score global est élevé plus les participants adoptent une théorie de l'entité par rapport à une théorie incrémentielle de l'intelligence.

Les différentes corrélations sont présentées dans le tableau 4.

Le score Entité-S est positivement corrélé au score Entité Générale. Le score Entité-S est négativement corrélé au score Incrémentielle Générale et au score des buts d'approche de maîtrise.

Le score Incrémentielle-S est positivement corrélé au score Incrémentielle Générale, et aux scores des buts d'approche de maîtrise. Le score Incrémentielle-S est négativement corrélé au score Entité Générale.

Le score Global-S est négativement corrélé au score des buts d'approche de performance et au score des buts d'approche de maîtrise. Il est positivement corrélé avec le score global de la théorie de l'intelligence générale, calculé en inversant les scores des items de la théorie incrémentielle générale.

Tableau 4

Corrélations des scores des buts poursuivis par les étudiants et des scores des théories implicites de l'intelligence (tournées vers soi : -S ou bien générale : -Générale)

	Moyenne	Ecart-type	Entité-S	Incrementielle-S	Global-S
Buts évitement de performance	4.40	1.59	.08	.02	.03
Buts approche performance	3.67	1.82	-.07	**.14****	**-.12***
Buts évitement de maîtrise	4.99	1.48	.06	.03	.02
Buts approche maîtrise	5.72	1.17	**-.13****	**.21****	**-.18****
Entité-Général	3.13	1.33	**.48****	**-.46****	**.51****
Incrémentielle-Général	4.01	1.43	**-.18****	**.27****	**-.25****

Global-Général	3.24	1.01	**.49****	**-.54****	**.55****

Note. **p<.001, * p<.05

3.4. Différences entre les théories implicites de l'intelligence tournées vers soi et en général

Les scores issus de l'échelle des théories implicites de l'intelligence en général et les scores issus de l'échelle des théories implicites tournées vers soi ont été normalisés (score entre 0 et 1) pour les tests de Student. Les tests de t de Student pour échantillons appariés montrent que le score Entité-Général $M = 0.35$, $ET = 0.22$ est plus élevé que le score Entité-S, $M = 0.26$, $ET = 0.22$. Cette différence est significative ($t(1068) = 13..41$, $p < .001$, $d = .41$). En revanche, le score Incrémentielle-S, $M = 0.71$, $SD = 0.22$, est significativement plus élevé que le score Incrémentielle-Général, $M = 0.50$, $ET = .24$ ($t(1068) = -24.49$, $p < .001$, $d = .75$). Le score Global-S, $M = 0.26$, $SD = .20$, est significativement moins élevé que le score Global-Général qui représente la théorie de l'entité de l'intelligence en général, $M = 0.37$, $SD = .17$, ($t(1068) = 21.34$, $p < .001$, $d = .65$).

Pour explorer la valeur prédictive des deux théories implicites de l'intelligence, tournées vers soi et générale, 4 régressions linéaires ont été conduites avec les deux théories comme prédicteurs et les buts d'accomplissement comme variables à prédire. Les résultats des régressions sont présentés dans le tableau 5.

Le modèle des buts d'évitement de maîtrise est non significatif. La part de variance expliquée par les modèles est faible pour les buts de performances ($R^2_{ajusté} = 1.11\%$, pour les buts d'approche et $R^2_{ajusté} = 0.78\%$ pour les buts d'évitement). La part de variance expliquée par le modèle des buts de maîtrise d'approche est moyennement faible ($R^2_{ajusté} = 3.75\%$). Les théories implicites tournées vers soi expliquent un pourcentage plus élevé de la part de variance expliquée par le modèle des buts d'approche, performance et maîtrise, que les théories implicites en général. Les théories implicites en général expliquent un pourcentage plus élevé de la part de variance expliquée par le modèle des buts d'évitement, performance et maîtrise, que les théories implicites tournées vers soi.

Tableau 5

Résultats des 4 régressions linéaires.

	bêta	ES	95% IC	*p*	$R^2_{ajusté}$	% par prédicteur
Buts approche de maîtrise					.04	
TIIS	-.14	.04	[-.24, -.08]	< .001		61%
TIIG	-.08	.04	[-.18, -.01]	.02		39%
Buts approche de performance					.01	
TIIS	-.12	.06	[-.35 -.09]	< .001		89%
TIIG	.02	.06	[-.09, .16]	.61		11%
Buts évitement de maîtrise					.002	
TIIS	.06	.05	[-.02, .19]	.12		28%
TIIG	-.08	.05	[-.22, -.01]	.04		72%
Buts évitement de performance					.007	
TIIS	.09	.06	[.03, .26]	.01		36%
TIIG	-.11	.06	[-.29, -.06]	.002		64%

Note : TIIS : théories implicites de l'intelligence tournées vers soi, TIIG : théories implicites de l'intelligence générale

4. Discussion

L'objectif de cette étude était d'évaluer la validité psychométrique d'une échelle, en langue française, des théories implicites de l'intelligence tournée vers sa propre intelligence qu'il serait possible d'utiliser auprès d'une population étudiante. Conformément à l'échelle originale en anglais (De Castella & Byrne, 2005) et à l'échelle des théories implicites en général (Da Fonseca et al., 2007), le modèle à deux facteurs a été retenu : un facteur lié à la théorie de l'entité et un facteur lié à la théorie Incrémentielle. L'échelle permet donc de calculer deux scores différents : un score qui reflète à quel point les étudiants adhèrent à une théorie de l'entité en ce qui concerne leur intelligence et un score qui mesure à quel degré les étudiants adhèrent à une théorie incrémentielle de leur intelligence. Les deux sous-échelles

présentent une bonne consistance interne. Contrairement à Dupeyrat et Mariné (2005), la corrélation entre les deux facteurs est élevée (r = -.80), ce qui va dans le sens de la vision originale de Dweck à savoir que la théorie de l'entité et la théorie incrémentielle constituent les extrémités d'un continuum (Dweck et al., 1995). Un score unique peut être alors calculé en inversant les items correspondants à la théorie incrémentielle. Ce score reflète à quel degré les étudiants adhèrent à une conception fixiste (*i.e.* théorie de l'entité) de leur propre intelligence par rapport à une conception malléable (*i.e.* théorie incrémentielle). Les individus peuvent être fortement fixistes ou fortement incrémentiels mais ils peuvent aussi adhérer à une conception mixte de leur intelligence. Comme souligné par Combette et Kelemen (2024), la conception qu'ont les individus de leur intelligence peut être plus complexe qu'une simple dichotomie, entité *vs* incrémentielle, d'où la nécessité d'utiliser des items qui mesurent non seulement la théorie de l'entité mais aussi des items qui mesurent la théorie incrémentielle comme c'est le cas de l'échelle étudiée dans cet article.

Par ailleurs, les analyses de corrélations effectuées entre cette échelle et les échelles de buts indiquent la relation entre les théories implicites et les buts poursuivis par les étudiants : les buts d'approche de maîtrise sont positivement corrélés avec la théorie incrémentielle de l'intelligence tandis qu'ils sont négativement corrélés avec la théorie de l'entité. Conformément aux résultats de De Castella et Byrne (2015), le score global, qui reflète la théorie de l'entité, est négativement corrélé non seulement aux buts d'approche de maîtrise mais aussi aux buts d'approche de performance. Aucune corrélation n'a été trouvée ni, entre les buts d'évitement de maîtrise et les théories implicites de l'intelligence tournées vers soi ni, entre les buts d'évitement de performance et les théories implicites tournées vers soi. Le seul résultat consistant dans la littérature est le lien positif entre les théories incrémentielles de l'intelligence et les buts d'approche de maîtrise comme c'est le cas dans notre étude. Cependant, dans notre étude, les théories incrémentielles de l'intelligence tournées vers soi étaient non seulement positivement liées aux buts d'approche de maîtrise mais aussi aux buts d'approche de performance. Le fait de croire en la malléabilité de son intelligence pourrait pousser les étudiants à se focaliser plus sur l'atteinte d'un succès que l'évitement d'un échec. Les conclusions qu'on peut tirer des corrélations entre les théories implicites de l'intelligence tournées vers soi et les buts d'accomplissement sont à interpréter avec précautions compte tenu de leurs faibles coefficients. Toutefois, les valeurs de ces coefficients de corrélation sont proches des valeurs trouvées par De Castella et Byrne (2015), dont les corrélations entre la théorie de l'entité et les buts d'accomplissement variaient entre .10 et .23, ainsi que d'autres

études comme celle de Howell et Buro (2009) qui ont mis en évidence des corrélations entre chaque théorie implicite de l'intelligence et les buts d'accomplissement variaient entre .10 et .14.

De plus fortes corrélations ont été observées entre les scores obtenus à partir de l'échelle de Da Fonseca et al., (2007), qui mesure les théories implicites de l'intelligence en général, et notre échelle des théories implicites de l'intelligence tournées vers soi. Comme attendu, la théorie incrémentielle tournée vers soi était positivement corrélée avec la théorie incrémentielle en général et la théorie de l'entité tournée vers soi était positivement corrélée avec la théorie de l'entité en général.

En accord avec les résultats de De Castella et Byrne (2015), les théories implicites de l'intelligence tournées vers soi se sont avérées, dans notre étude aussi, être différentes de leur conception de l'intelligence en général. Quand les apprenants pensent à l'intelligence comme une notion générale, ils ont tendance à la considérer plus fixe que malléable, et donc moins encline à changer avec le temps, comparativement à leur propre intelligence. Les apprenants jugent leur intelligence comme étant plus malléable que l'intelligence en général. Ces résultats sont cohérents avec les résultats de De Castella et Byrne (2015) qui ont trouvé que les individus ont tendance à adhérer à une conception plus incrémentielle de l'intelligence quand il s'agit de leur propre intelligence. Il se pourrait donc que les apprenants aient le sentiment d'avoir plus de contrôle sur leurs propres capacités et peuvent donc les améliorer.

La différence entre les théories implicites de l'intelligence tournées vers soi et les théories en général, peut être le fruit de l'illusion de supériorité de soi (Buunk & Van Yperen, 1991) ou ce qu'on appelle l'effet supérieur à la moyenne. Ce biais cognitif pousse les individus à considérer que leurs compétences sont meilleures que la norme, comme pour la capacité à développer son intelligence. L'illusion de supériorité de soi permet de maintenir une estime de soi positive (Taylor et al., 1993). En d'autres termes, croire que l'on peut changer son intelligence peut être considéré comme un moyen qui permet aux étudiants de protéger l'estime qu'ils ont d'eux-mêmes. Les étudiants sujets d'un biais d'optimisme peuvent aussi considérer que leur intelligence est plus malléable que l'intelligence en général. Le biais d'optimisme se définit comme la surestimation de la probabilité d'obtenir des résultats positifs (réussir à développer son intelligence). Ruthig et al. (2007) ont trouvé qu'un biais d'optimisme était lié à de meilleures performances académiques, ce qui pourrait expliquer pourquoi les théories implicites de l'intelligence tournées vers soi, si elles sont le résultat d'un biais d'optimisme, étaient plus prédictives des buts d'approche que les théories implicites en

général, les buts d'approche étant liés à la performance académique contrairement aux buts d'évitement (Wirthwein et al., 2013). Une autre explication pourrait être tout simplement que les apprenants sont sujets au biais de désirabilité sociale et les poussent à répondre en faveur d'une malléabilité de leur intelligence (Grimm, 2010 ; Fisher & Katz, 2000). En outre, les mesures des théories implicites tournées vers soi et les théories implicites de l'intelligence en générale utilisent différentes échelles de Likert. L'échelle des théories implicites tournées vers soi est une échelle sur 6 points tandis que l'échelle de Da Fonseca et al. (2007), utilisée pour mesure les théories implicites de l'intelligence en général, est sur 7 points. Les échelles de Likert sur 7 points contrairement aux échelles sur 6 points comprennent un point médian qui peut refléter un avis neutre mais qui peut aussi servir comme échappatoire aux participants qui trouvent que les items sont ambigus ou aux participants qui ne veulent pas se positionner (Alhassan et al., 2022). La question se pose alors concernant le lien entre les échelles de Likert utilisées pour chaque mesure et la différence entre les scores tournées vers soi et générales. Toutefois, Simms et al. (2019) n'ont pas réussi à mettre en évidence une différence psychométrique entre les échelles de Likert à 6 points et les échelles à 7 points mais conseillent l'utilisation des échelles à 6 points par soucis de parcimonie.

Limites

La population qui a permis la validation psychométrique de cette échelle ne comprenait que des étudiants de 1ère année de licence à l'université et n'est donc applicable que pour des populations similaires (MacCallum & Austin, 2000). Pour pouvoir utiliser cette échelle avec un public plus jeune ou plus avancé dans les études universitaires il serait nécessaire de tester sa validité psychométrique auprès d'une population constituée d'enfants en école élémentaire, collèges ou lycées pour les plus jeunes, ou auprès d'une population d'adultes en formation : niveau master, ou en formation continue afin de vérifier qu'elle puisse s'y adapter et servir de base pour des interventions éducatives.

Malgré les liens trouvés entre les théories implicites tournées vers soi et les buts d'accomplissement qui vont dans le sens de la littérature, certaines corrélations restent faibles mais cela ne diffère pas des tendances observées dans d'autres recherches sur le sujet (De Castella & Byrne, 2015 ; Howell & Buro, 2009). Il faut aussi noter que les participants ont répondu aux questionnaires en ligne, les conditions dans lesquelles les participants ont répondu à l'enquête sont inconnues de même que l'attention et l'intérêt qu'ils y ont portés, ce qui peut poser question sur la fiabilité et la validité des données recueillies (Latkovikj & Popvska, 2019), même si les résultats de cette étude restent conformes à la littérature.

5. Conclusion

Cette étude a permis de vérifier la validité psychométrique d'une échelle de théories implicites de l'intelligence tournées vers soi en langue française pour des étudiants en début de cursus de licence à l'université. Cette échelle est composée de deux sous-échelles chacune mesurant une théorie implicite : 4 items pour mesurer la théorie incrémentielle et 4 items pour mesurer la théorie de l'entité. Connaître la conception qu'ont les étudiants de leur propre intelligence, qui peut être différente de leur conception de l'intelligence en général, va permettre de mieux évaluer les interventions qui ont comme but d'améliorer les performances académiques des étudiants. Ces interventions pourraient tenter d'agir sur les buts ou les conceptions des étudiants afin de les aider à les dépasser quand ceux-ci peuvent être néfastes à l'apprentissage.

Références

Alhassan, I., Asiamah, N., Opuni, F. F., & Alhassan, A. (2022). The likert scale: exploring the unknowns and their potential to mislead the world.

Blackwell, L. S., Trzesniewski, K. H., & Dweck, C. S. (2007). Implicit theories of intelligence predict achievement across an adolescent transition: A longitudinal study and an intervention. *Child development, 78*(1), 246-263. https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.00995.x

Behrendt, S. (2023). lm. beta Add standardized regression coefficients to linear-model-objects. *R package version*, *1*, 1-7.

Brislin, R. W. (1986). The wording and translation of research instruments. In W. Lonner & J. Berry (Eds), *Fields methods in cross-cultural research* (pp. 137-164). Beverly Hill: Sage.

Browne, M. W., & Cudeck, R. (1992). Alternative ways of Assessing model fit. *Sociological Methods &Research, 21*(2), 230–258. https://doi.org/10.1177/0049124192021002005

Buunk, B. P., & Van Yperen, N. W. (1991). Referential comparisons, relational comparisons, and exchange orientation: Their relation to marital satisfaction. *Personality and Social Psychology Bulletin*, *17*(6), 709-717.

Burnette, J. L., Billingsley, J., Banks, G. C., Knouse, L. E., Hoyt, C. L., Pollack, J. M., & Simon, S. (2023). A systematic review and meta-analysis of growth mindset interventions: For whom, how, and why might such interventions work?. *Psychological Bulletin*, *149*(3-4), 174. https://doi.org/10.1037/bul0000368

Chen, J. A., & Pajares, F. (2010). Implicit theories of ability of Grade 6 science students: Relation to epistemological beliefs and academic motivation and achievement in science. *Contemporary Educational Psychology, 35*(1), 75-87. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2009.10.003

Cohen, J., Cohen, P., West, S. G., & Aiken, L. S. (2013). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences*. Routledge.

Combette, L. T., & Kelemen, D. (2024, February 11). Paying Attention to Mindset Measures: A Necessary Step to Move Beyond Mindset Controversies. https://doi.org/10.31219/osf.io/yr85t

Costa, A., & Faria, L. (2018). Implicit theories of intelligence and academic achievement: A meta-analytic review. *Frontiers in psychology, 9,* 829. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00829

Cury, F., Elliot, A. J., Da Fonseca, D., & Moller, A. C. (2006). The social-cognitive model of achievement motivation and the 2× 2 achievement goal framework. *Journal of personality and social psychology, 90*(4), 666-679. https://doi.org/10.1037/0022-3514.90.4.666

Da Fonseca, D., Cury, F., Bailly, D., & Rufo, M. (2004). Théories implicites de l'intelligence et buts d'accomplissement scolaire. *Annales Médico-psychologiques, revue psychiatrique, 162*(9), 703-710. https://doi.org/10.1016/j.amp.2004.04.019

Da Fonseca, D., Schiano-Lomoriello, S., Cury, F., Poinso, F., Rufo, M., & Therme, P. (2007). Validité factorielle d'un questionnaire mesurant les théories implicites de l'intelligence (TIDI). *L'Encéphale*, *33*(4), 579-584. https://doi.org/10.1016/S0013-7006(07)92056-4

Darnon B. & Butera F. (2005). Buts d'accomplissement, stratégies d'étude, et motivation intrinsèque : présentation d'un domaine de recherche et validation française de l'échelle d'Elliot et McGregor (2001). *L'année psychologique, 105* (1), 105-131 ; doi : https://doi.org/10.3406/psy.2005.3821

De Castella, K., & Byrne, D. (2015). My intelligence may be more malleable than yours: The revised implicit theories of intelligence (self-theory) scale is a better predictor of achievement, motivation, and student disengagement. *European Journal of Psychology of Education, 30,* 245-267. https://doi-org.faraway/10.1007/s10212-015-0244-y

Doucet, M., Bouffard, T., & Vezeau, C. (2020). Le rôle de la préoccupation envers l'erreur dans la relation entre la théorie implicite de l'intelligence et la perception de

compétence. *Journal sur l'identité, les relations interpersonnelles et les relations intergroupes, 13*.

Dupeyrat, C., & Mariné, C. (2005). Implicit theories of intelligence, goal orientation, cognitive engagement, and achievement: A test of Dweck's model with returning to school adults. *Contemporary educational psychology*, *30*(1), 43-59. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2004.01.007

Dweck, C. S. (1986). Motivational processes affecting learning. *American psychologist*, *41*(10), 1040-1048.

Dweck, C. S., & Leggett, E. L. (1988). A social-cognitive approach to motivation and personality. *Psychological review, 95*(2), 256-273

Dweck, C. S., & Henderson, V. L. (1989). Theories of Intelligence: Background and Measures. Unpublished manuscript.

Dweck, C. S., Chiu, C., & Hong, Y. (1995). Implicit Theories: Elaboration and Extension of the Model. *Psychological Inquiry*. *6*(4), 322-333. https://doi.org/10.1207/s15327965pli0604_12

Dweck, C. (1999). *Self-theories: their role in motivation, personality, and development.* Philadelphia : Psychology Press.

Dweck, C. S., & Yeager, D. S. (2019). Mindsets: A view from two eras. *Perspectives on Psychological science*, *14*(3), 481-496. https://doi.org/10.1177/1745691618804166

Elliot, A. J., & McGregor, H. A. (2001). A 2x2 achievement goal framework. *Journal of Personality and Social Psychology, 80*, 501–519. https://doi.org/10.1037/0022-3514.80.3.501.

Elliot, A. J., Murayama, K., & Pekrun, R. (2011). A 3× 2 achievement goal model. *Journal of educational psychology, 103*(3), 632-648. https://doi.org/10.1037/a0023952

Fisher, R. J., & Katz, J. E. (2000). Social-desirability bias and the validity of self-reported values. *Psychology & marketing*, *17*(2), 105-120. https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6793(200002)17:2<105::AID-MAR3>3.0.CO;2-9

Godard, A., Arciszewski, T., Enea-Drapeau, C., & Perret, P. (2023). Les théories implicites de l'intelligence: une question de perspectives?. *Psychologie Française*, *68*(1), 137-155. https://doi.org/10.1016/j.psfr.2021.09.001

Grimm, P. (2010). Social desirability bias. *Wiley international encyclopedia of marketing*. https://doi.org/10.1002/9781444316568.wiem02057

Grömping, U. (2007). Relative importance for linear regression in R: the package relaimpo. *Journal of statistical software*, *17*, 1-27. https://doi.org/10.18637/jss.v017.i01

Hong, Y. Y., Chiu, C. Y., & Dweck, C. S. (1995). Implicit theories of intelligence: Reconsidering the role of *confidence* in achievement motivation. In M.H. Kernis (Ed), *Efficacy, agency, and self-esteem*, (pp197-216). Boston : Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1280-0_10

Howell, A. J., & Buro, K. (2009). Implicit beliefs, achievement goals, and procrastination: A mediational analysis. *Learning and individual differences*, *19*(1), 151-154. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2008.08.006

Janssen, T. W., Nieuwenhuis, S., Altikulaç, S., Meeter, M., Bonte, M., Jansen, B. R., ... & Van Atteveldt, N. (2022). Mindset and effort during a self-adapted arithmetic task: Variable- and person-oriented approaches. *Learning and Motivation*, *80*, 101840. https://doi.org/10.1016/j.lmot.2022.101840

Katz-Vago, I., & Benita, M. (2023). Mastery-approach and performance-approach goals predict distinct outcomes during personal academic goal pursuit. *British Journal of Educational Psychology*, *94*, 309-327. https://doi.org/10.1111/bjep.12645

Kim, H.-Y. (2013). Statistical notes for clinical researchers: Assessing normal distribution (2) using skewness and kurtosis. *Restorative Dentistry & Endodontics, 38*(1), 52. https://doi.org/10.5395/rde.2013.38.1.52

Latkovikj, M. T., & Popovska, M. B. (2019). Online research about online research: advantages and disadvantages. *E-methodology, 6*(6), 44-56.

Liu, W. C. (2021). Implicit theories of intelligence and achievement goals : A look at students' intrinsic motivation and achievement in mathematics. *Frontiers in Psychology, 12,* 593715. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.593715

Lorenzo-Seva, U., Navarro-Gonzalez, D., Maintainer, & Steiner, M. (2023). Package "EFAtools." R-project.org.

MacCallum, R. C., & Austin, J. T. (2000). Applications of structural equation modeling in psychological research. *Annual review of psychology*, *51*(1), 201-226. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.51.1.201

Martin, A.J., Bostwick, K., Collie, R.J., & Tarbetsky, A. (2017). Implicit theories of intelligence. In V. Zeigler-Hill & T.K. Shackelford (Eds.*). Encyclopedia of Personality and Individual Differences*. New York: Springer.

McGregor, H. A., & Elliot, A. J. (2002). Achievement goals as predictors of achievement-relevant processes prior to task engagement. *Journal of educational psychology, 94*(2), 381-395. https://doi.org/10.1037/0022-0663.94.2.381

Parada, S., & Verlhiac, J. F. (2022). The effect of a short computerized growth mindset intervention with implementation intentions on French students entering university. *Applied Cognitive Psychology*, *36*(3), 561-572. https://doi.org/10.1002/acp.3944

Paunesku, D., Walton, G. M., Romero, C., Smith, E. N., Yeager, D. S., & Dweck, C. S. (2015). Mind-set interventions are a scalable treatment for academic underachievement. *Psychological science*, *26*(6), 784-793. https://doi.org/10.1177/0956797615571017

R Core Team (2024). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing,* Vienna, Austria. URL: https://www.R-project.org/.

Revelle, W. R. (2017). psych: Procedures for personality and psychological research.

Robins, R. W., & Pals, J. L. (2002). Implicit self-theories in the academic domain: Implications for goal orientation, attributions, affect, and self-esteem change. *Self and identity, 1*(4), 313-336. https://doi-org.faraway.parisnanterre.fr/10.1080/15298860290106805

Rosseel, Y. (2012). Lavaan: An R Package for Structural Equation Modeling. *Journal of Statistical Software, 48*(2), 1–36. http://www.jstatsoft.org/v48/i02/

Ruthig, J. C., Haynes, T. L., Perry, R. P., & Chipperfield, J. G. (2007). Academic optimistic bias: Implications for college student performance and well-being. *Social psychology of education*, *10*, 115-137. https://doi-org /10.1007/s11218-006-9002-y

Simms, L. J., Zelazny, K., Williams, T. F., & Bernstein, L. (2019). Does the number of response options matter? Psychometric perspectives using personality questionnaire data. Psychological assessment, 31(4), 557. https://doi.org/10.1037/pas0000648

Sisk, V. F., Burgoyne, A. P., Sun, J., Butler, J. L., & Macnamara, B. N. (2018). To what extent and under which circumstances are growth mind-sets important to academic achievement? Two meta-analyses. *Psychological science*, *29*(4), 549-571. https://doi.org/10.1177/0956797617739704

Steiner, M.D., & Grieder, S.G. (2020). EFAtools: An R package with fast and flexible implementations of exploratory factor analysis tools. *Journal of Open Source Software, 5*(53), 2521. https://doi.org/10.21105/joss.02521

Taylor, S. E., Wayment, H. A., & Collins, M. A. (1993). Positive illusions and affect regulation. In D. M. Wegner & J. W. Pennebaker (Eds.), *Handbook of mental control*, 325–343. Prentice-Hall, Inc.

Tulis, M., Steuer, G., & Dresel, M. (2018). Positive beliefs about errors as an important element of adaptive individual dealing with errors during academic learning. *Educational Psychology*, *38*(2), 139-158. https://doi.org/10.1080/01443410.2017.1384536

Vallerand, R. J. (1989). Vers une méthodologie de validation trans-culturelle de questionnaires psychologiques: Implications pour la recherche en langue française. [Toward a methodology for the transcultural validation of psychological questionnaires: Implications for research in the French language]. *Canadian Psychologie / Psychologie Canadienne, 30*(4), 662-680. https://doi.org/10.1037/h0079856

Wirthwein, L., Sparfeldt, J. R., Pinquart, M., Wegerer, J., & Steinmayr, R. (2013). Achievement goals and academic achievement: A closer look at moderating factors. *Educational Research Review*, *10*, 66-89. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.07.001

Yeager, D. S., Hanselman, P., Walton, G. M., Murray, J. S., Crosnoe, R., Muller, C., ... & Dweck, C. S. (2019). A national experiment reveals where a growth mindset improves achievement. *Nature*, *573*(7774), 364-369. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1466-y

3. Synthèse

Cet article a présenté la validation psychométrique de l'échelle des théories implicites tournées vers soi (TIIS) en langue française pour une population étudiante en 1ère année de l'université. Cette échelle permet de calculer trois scores : un score qui reflète la composante de la théorie incrémentielle, un score qui reflète la composante de la théorie de l'entité et un score global qui reflète à quel point l'individu adhère à une théorie de l'entité (un score élevé correspond à des croyances plus importantes d'entité comparé à des croyances incrémentielles).

Cette étude a mis en évidence que les théories implicites mesurées par une échelle générale, comme celle Da Fonseca et al. (2007), sont différentes des théories implicites qui concernent sa propre intelligence. La manière dont on perçoit la malléabilité ou la fixité de l'intelligence diffère selon que l'on se concentre sur des caractéristiques internes propres à soi ou sur des facteurs externes plus généraux. En effet, les apprenants perçoivent leur intelligence plus malléable, quand la question posée concerne leur propre intelligence, que lorsqu'elle concerne l'intelligence en général. Lorsque les apprenants répondent à notre échelle, leur attention est dirigée vers leurs propres attributs et capacités, ce qui a influencé leur perception de la malléabilité de leur propre intelligence différemment de leur perception de l'intelligence en général.

Des analyses complémentaires ont montré que le score global TIIS est plus prédictif des buts d'approche (maîtrise et performance) contrairement au score des théories implicites de l'intelligence générale. Ce résultat suggère que les tendances motivationnelles et les comportements sont plus susceptibles d'être influencés par la perception qu'ont les apprenants de leur propre intelligence que de la perception qu'ils ont de l'intelligence comme concept.

Au vu de ces résultats, nous pouvons considérer l'échelle des théories implicites de l'intelligence tournée vers soi, présentée ci-dessous, un outil pertinent et justifié pour déterminer les théories implicites des participants dans le cadre de cette thèse.

Consigne :

Les questions suivantes explorent les croyances des élèves sur leur capacité personnelle à modifier leur niveau d'intelligence. Il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse. Nous sommes tout simplement intéressés par votre opinion. A l'aide de l'échelle ci-dessous, veuillez indiquer dans quelle mesure vous êtes d'accord ou non avec les affirmations suivantes.

1 = Pas du tout d'accord, 2 = pas d'accord, 3 = Plutôt pas d'accord, 4 =Plutôt d'accord, 5 = D'accord, 6 = Tout à fait d'accord.

Tableau 4.

Les items de la mesure de l'échelle des théories implicites tournées vers soi.

Numéro	**Item**
1	Je ne pense pas pouvoir personnellement faire grand-chose pour augmenter mon intelligence.
2	Mon intelligence est un aspect de ma personne que je ne peux personnellement pas beaucoup changer.
3	Honnêtement, je ne pense pas que je puisse vraiment changer l'intelligence que j'ai.
4	Je peux apprendre de nouvelles choses, mais je n'ai pas la capacité de changer mon intelligence de base.
5	Avec suffisamment de temps et d'efforts, je pense que je pourrais améliorer significativement mon niveau d'intelligence.
6	Je crois que je peux toujours améliorer substantiellement mon intelligence.
7	Indépendamment de mon niveau d'intelligence actuel, je pense que j'ai la capacité de le changer considérablement.
8	Je crois que j'ai la capacité de changer considérablement mon niveau d'intelligence de base au fil du temps.

Chapitre 5. Mesurer les théories implicites de l'intelligence – Points clés

- L'échelle des théories implicites tournées vers soi présente des qualités psychométriques valides et fiables.
- Les théories implicites tournées vers soi diffèrent des théories implicites sur l'intelligence en générale, elles sont perçues comme plus malléables.
- Les buts d'accomplissement sont plus prédits par les théories implicites tournées vers soi.

Chapitre 6. Théories implicites de l'intelligence et erreurs : mesurer et transformer les réactions des apprenants.

1. Préambule

Les apprenants ne présentent pas les mêmes réactions lorsqu'ils sont confrontés à des erreurs. Selon les modèles de Tulis et al. (2016) et Zhang & Fiorella (2023), les caractéristiques individuelles des étudiants ont un impact sur la façon dont ils réagissent et apprennent de leurs erreurs. Dans cette thèse, nous nous penchons sur les théories implicites des étudiants concernant la malléabilité de leur intelligence et sur la manière dont ces théories influencent les réactions des apprenants. Plusieurs études, exposées en détail dans l'introduction, ont montré que les apprenants ayant une théorie incrémentielle de l'intelligence ont des réactions plus adaptées face aux erreurs, ce qui facilite l'apprentissage à partir de celles-ci, par rapport aux apprenants ayant une théorie de l'entité, qui ont tendance à réagir négativement lorsqu'ils sont confrontés à des erreurs. Cela suggère que les apprenants ayant une théorie de l'entité apprendront moins de leurs erreurs.

Pour rappel, les apprenants ayant une théorie de l'entité sont plus vulnérables face aux difficultés en général parce qu'ils perçoivent les échecs et les erreurs comme une confirmation de leurs limites intrinsèques. Les erreurs suscitent alors des émotions négatives plus fortes chez ces apprenants que chez les apprenants ayant une théorie incrémentielle (Robins et Pals, 2002). En outre, les apprenants avec une théorie de l'entité portent moins leur attention au feedback informatif, la bonne réponse par exemple, suivant une erreur que les apprenants avec une théorie incrémentielle (Mangels et al., 2006 ; Moser et al., 2011 ; Schroder et al., 2017). La plupart des études qui ont examiné l'effet des théories implicites de l'intelligence sur les réactions face aux erreurs étaient soit des études corrélationnelles (Chouvalova et al., 2024), soit des études avec potentiels évoquées (Mangels et al., 2006 ; Moser et al., 2011 ; Puusepp et al., 2021; Schroder et al., 2017). Zentall & Junglen (2017) soulignent que peu d'études ont utilisé des mesures physiologiques pour dévoiler comment les théories implicites influencent le comportement. La première expérience présentée dans cet

article a tenté de combler ce manque en utilisant les mouvements oculaires et la variabilité de la fréquence cardiaque pour répliquer les résultats des études antérieures et mieux comprendre comment les théories implicites influencent l'apprentissage à partir des erreurs. En utilisant la VFC comme indicateur de stress et de régulation autonome, la 1re expérience vise à saisir en temps réel les réponses affectives, parfois non conscientes, des étudiants au feedback évaluatif sur l'erreur. Une diminution de la VFC (un RMSSD plus faible) est corrélée à une plus grande sensibilité au stress et à des difficultés de gestion émotionnelle (Appelhans & Luecken, 2006), faisant de cette mesure physiologique un outil pertinent pour évaluer le degré de menace que représentent les erreurs pour les apprenants, en particulier ceux avec une théorie de l'entité. Grâce à l'oculométrie, qui permet de mesurer précisément où et combien de temps les apprenants regardent différents types de feedback (KR, KCR, info)[10], cette expérience vise à identifier si les apprenants ayant des théories implicites de l'intelligence distinctes réagissent différemment, notamment face au feedback informatif indiquant la bonne réponse.

Parce que nous savons que les erreurs peuvent être bénéfiques à l'apprentissage (Metcalfe, 2017) et que cet apprentissage dépend de l'adaptabilité des réactions des apprenants (Tulis et al., 2016), la 2e expérience de l'article ci-dessous examine l'effet d'une introduction sur les fonctionnalités des erreurs et la possibilité de choisir d'afficher ou non le feedback informatif sur les réactions des apprenants. La 2e expérience a également utilisé les mesures de la variabilité de la fréquence cardiaque pour examiner les réactions affectives au feedback évaluatif et les mouvements oculaires comme indicateurs des réactions attentionnelles face au feedback informatif (KCR).

Les deux expériences ont employé une tâche d'apprentissage comprenant une vidéo animée et des questions pour évaluer la compréhension. À la suite de chaque question, les participants recevaient d'abord un feedback évaluatif, puis un feedback informatif. En plus de la tâche d'apprentissage, la 2e expérience a manipulé deux facteurs **:** une introduction sur la fonctionnalité des erreurs (présente ou absente) et la possibilité de choisir d'afficher le feedback informatif (offerte ou non). Les participants ont donc été répartis en quatre groupes : pas d'introduction/pas de choix, introduction/choix, introduction/pas de choix, pas d'introduction/choix. Les participants de la condition "introduction" regardaient une vidéo sur la fonctionnalité des erreurs avant de commencer la tâche d'apprentissage. Les participants de

[10] KR : Knowledge of result, KCR : Knowledge of Correct Response, Info : additional explanation

la condition "choix" avaient le choix, après le feedback évaluatif, soit de passer à la question suivante, soit d'afficher le feedback informatif.

Pour cette étude, nos hypothèses étaient les suivantes :

Expérience 1 : Les apprenants ayant une théorie de l'entité manifesteraient des réactions affectives plus intenses au feedback évaluatif, porteraient moins d'attention au feedback informatif et apprendraient moins de leurs erreurs que les apprenants ayant une théorie incrémentielle.

Expérience 2 : L'introduction sur la fonctionnalité des erreurs et la possibilité de choisir d'afficher le feedback informatif moduleraient positivement les réactions des apprenants, favorisant ainsi un meilleur apprentissage à partir de leurs erreurs.

2. Article

Implicit Theories of Intelligence and the Science of Learning from Errors: Tracking and Modifying Students' Reactions

Mariyem Ahmida[1] and Laure Léger[1]

[1] LINP2, Department of Psychology, Paris Nanterre University

Abstract

Errors are inherent in learning, yet students often struggle to engage with them adaptively. This study examines how students' implicit theories of intelligence influence their affective and attentional responses to error-related feedback and whether these reactions can be modified. Two experiments were conducted using eye movements and heart rate variability. The first experiment found that students with an entity theory had stronger stress reactions than those with an incremental theory when faced with evaluative error-related feedback. They also paid less attention to the informative feedback (Knowledge of correct response) and learned less from their errors. The second experiment tested whether a short introduction to the functionality of errors and allowing students to choose whether to view informative feedback would modify these responses. Contrary to expectations, the introduction did not significantly impact stress responses, attention to informative feedback, or learning from errors. Surprisingly, students with an entity theory who chose to display the informative feedback paid more attention to it compared to students with an incremental theory. The findings of this study suggest that short interventions may not be sufficient to alter students' responses to errors. Future research should explore longer interventions and additional motivational factors to promote adaptive engagement with errors.

Keywords: Implicit theories of intelligence, learning from errors, eye tracking, heart rate variability, reactions to errors.

1. Introduction

Errors are an integral part of the learning process, and they can be beneficial to learning (Mera et al., 2022; Metcalfe, 2017). For example, generating errors improves performance compared to a reading condition (Potts & Shanks, 2014), enhances memory for the correct response (Kornell et al., 2015) and can stimulate students' attention (Metcalfe, 2017). Surprisingly, as much as students are familiar with errors during their academic journey, they seem to be unaware of their potential benefits (Huelser & Metcalfe, 2012) and do not always react in an adaptive way to learn from them (Tulis et al., 2016). This work explored how students react to error-related feedback in a learning task to help them better react to it to learn from their errors. Based on Tulis et al. (2016), detecting an error generates a sequential process that starts with an emotional reaction directly related to the error. This first emotional reaction results from primary appraisals (explanation) that are followed by secondary appraisals related to the controllability of the situation and the students' resources to change the situation. Secondary appraisals can either change or exasperate the emotional reaction and affect students' motivation. Students will then engage in emotional and motivational regulation. If the regulation strategies are adapted, students will engage in the appropriate metacognitive and cognitive processes that will lead to learning from errors, such as redirecting attention to the task at hand. Receiving feedback that indicates students that they made an error leads, in general, to enhanced attention, especially when it is unexpected (Fazio & Marsh, 2009). But regulation strategies can also be maladapted or inappropriate and cause such disengagement from the task that learning from errors is hardly possible. Errors usually trigger negative emotions such as sadness and disappointment (Harley et al., 2019) which can be detrimental to students' learning motivation and performance (Rowe, 2017) when not well regulated.

Having adaptive or maladaptive reactions is influenced by individual differences (Tulis et al., 2016; Zhang & Fiorella, 2023), such as their implicit theories of intelligence (Dweck, 2006). Believing that intelligence is a malleable quality or considering it as a fixed ability has an impact on how students respond to errors and learn from them (Metcalfe, 2017). Students with an incremental theory of intelligence are assumed to display more adaptive reactions toward errors than students with an entity theory of intelligence (Dweck, 2006). The present study will focus on two main reactions: the affective reaction and attentional reaction to error-related feedback. This study investigates these reactions based on students' implicit theories of intelligence and tests whether these reactions can be influenced to guarantee proper

learning from errors. For that, two experiments were conducted: the first to explore student reactions to error feedback according to their implicit theory of intelligence and the second to explore the possibility to conduct learners, especially those with entity theory of intelligence, to consider error feedback as a tool for enhancing their learning.

1.1. Implicit theories of intelligence

Implicit theories of intelligence are beliefs about the nature of intelligence. Two opposing beliefs about the nature of intelligence were defined (Dweck & Leggett, 1988). Individuals with an entity theory on intelligence consider intelligence a fixed capacity that cannot change. In contrast, individuals with an incremental theory consider intelligence a malleable quality that can be developed over time. Students' implicit theories shape their reactions and influence their choices, impacting their academic performances (Costa & Faria, 2018). As students with an entity theory of intelligence believe that their intelligence is unchangeable, they tend to consider failures, such as making an error, as proof of their lack of ability (Molden & Dweck, 2006). They usually follow performance goals (Robins & Pals, 2002) that focus on demonstrating their competence (Elliot & McGregor, 2001) and are less likely to choose to follow mastery goals that aim to develop their competencies and master the task at hand. Mastery goals are usually pursued by students with an incremental implicit theory of intelligence (Smiley et al., 2016). These students believe that intelligence can be changed and developed with effort. When a failure is met, they consider it as a result of a lack of effort, not ability, which in return triggers less negative affective reactions (Robins & Pals, 2002). An incremental theory of intelligence was found to be negatively related to shame and withdrawal after failure and predicted intentions to engage in adaptive actions to overcome this failure (Smiley et al., 2016). Errors can be considered as information on what needs to be improved through further attention and effort (Grassinger & Dresel, 2017) which explains why students with an incremental theory of intelligence pay more attention to this information that can enrich their knowledge, for example, the feedback that gives them the correct answer after making an error (Dweck, 2006). In contrast, Individuals with an entity theory pay more attention when feedback concerns their performance — did I get it right? — but are less interested in informative feedback (Dweck, 2006). Individuals with an entity theory care more about feedback that focuses on their performances and less about feedback that can help them improve these performances (Burnette et al., 2013).

1.2. Attention to error-related feedback.

To grasp individuals' attentional reactions to error-related feedback depending on their implicit theories of intelligence many indicators, such as eye movements or event-related potentials, can be analyzed. In an eye-tracking study, Watson et al. (2008) found that, on a categorization task, participants spent more time paying attention to stimuli associated with incorrect feedback than with correct feedback. Cutumisu et al. (2019) found similar results when recording participants' eye movements while performing a computer-based poster designing game; participants paid more attention to critical feedback (negative feedback) than confirmatory ones.

When investigating implicit theories and attention to error information Mangels et al. (2006) used event-related potentials and found that undergraduates with an entity implicit theory of intelligence engaged less in sustained semantic processing of feedback that gives them the correct answer after an error than undergraduates with an incremental implicit theory. This resulted in lower gains of knowledge in a general culture test. Using a flanker task, Moser et al. (2011) ERP study results revealed that endorsing an incremental theory is associated with awareness and allocation of attention to errors compared to students with an entity theory. Enhanced attention to mistakes mediated the relationship between the implicit theory of intelligence and post-error performance. In other words, because individuals with an incremental theory paid more attention to errors and the information given by that error, they were able to improve their flanker task results. Similar results were observed using a go/no-go task with children (Schroder et al., 2017) using ERP; children who believed intelligence is incremental paid more attention to error feedback and exhibited better post-error accuracy. Another study confirmed these results as higher endorsement of an incremental theory of intelligence was marginally associated with more attentional resources allocated to process the corrective feedback (Puusepp et al., 2021). All these studies support the hypothesis of enhanced attention to the information given by errors for students with an incremental implicit theory of intelligence compared to students with an entity implicit theory of intelligence, leading to better performances than students with an entity theory.

Thus, because attention not only depends on the nature of feedback but also the implicit theory of intelligence held by the individuals, this study’s first aim is to use eye tracking to explore students’ attention to error-related feedback based on their implicit theories of intelligence and replicate neurophysiological findings by using eye tracking methodology.

1.3. Emotional reactions to error-related feedback

Receiving feedback that says "you made an error" is not emotion-free, and it is unfortunately truer for students with an entity theory of intelligence. Their fear of failure, which is accompanied by negative emotions, drives them to avoid engaging in adaptive strategies to learn from their errors (Burnette et al., 2013). Compared to students with an incremental theory, students with an entity theory of intelligence experience more distress during their academic journey (Robins & Pals, 2002) and are more likely to develop symptoms of depression (Da Fonseca et al., 2009). Endorsing an incremental theory, on the contrary, seems to be negatively correlated with psychological distress (Burnette et al., 2020). Inducing an incremental view of intelligence also helped reduce state anxiety in students with a general anxiety disorder while performing an IQ test (Da Fonseca et al., 2008).

When students believe that abilities like intelligence are fixed, they tend to see their performance as a direct reflection of their ability. As a result, they become more vulnerable to negative feedback in achievement contexts. Errors, perceived as a threat to their self-concept (Molden & Dweck, 2006), naturally trigger negative emotional reactions. Mangels et al. (2006) found that negative feedback had more affective salience for students with an entity theory, and the authors have suggested that the attentional disengagement observed in their study among participants with an entity theory can be due to this affective salience of negative feedback. They advised that future cardiovascular reactivity studies should be carried out to further investigate this hypothesis. Heart rate variability, which measures time fluctuations between two heartbeats, is often used as an indicator of emotional response (Appelhans & Luecken, 2006). Heart rate variability changes when faced with a stressful event (Vargas-Luna et al., 2013), and a reduction in heart rate variability is usually a sign of a dysregulated emotional response. Individuals who participated in Hilgarter et al. (2021) study experienced a reduction in heart rate variability during a stress period compared to a rest period.

The second objective of this study is to use heart rate variability to shed some light on implicit theories of intelligence and their affective reaction to error-related feedback.

1.4. Modifying students' implicit theories

Endorsing an incremental implicit theory of intelligence is linked to higher motivation, better coping with failure, higher academic performances, and less stress and anxiety compared to having an entity implicit theory of intelligence (Burnette et al., 2013, 2020; Dweck, 2006). These results suggest that changing students' implicit theories to more incremental beliefs about their intelligence can positively impact their academic performances, motivation, and

reactions to failure. Several studies have, therefore, been conducted to test whether an intervention to foster incremental beliefs about one's intelligence, usually called *growth mindset interventions*, can have the expected effects.

Blackwell et al., (2007) was one of the first studies to test if teaching secondary students that intelligence is malleable and can be developed through effort can improve their motivation and academic achievement. They compared an eight-session intervention group with a control group and found that students who received the intervention showed an increase in motivation and math grades. Paunesku et al., (2015) wondered if the same positive effect could be observed with a two-session online intervention designed for high school students. The online intervention had positive effects on grades, especially for lower-performing students. Whether administered online or face-to-face, interventions that seek to change students' implicit theories of intelligence seem beneficial. Recent studies also succeeded in proving the positive effects of growth mindset interventions. For example, Zhao et al. (2023) tested an 8-session intervention among primary students that positively impacted their implicit theories of intelligence and their beliefs about failure. Considering the rising popularity of growth mindset interventions, various meta-analyses were conducted to quantify their effectiveness. Burnette et al. (2023) found an average effect size of .14 on academic achievement, which is considered small but at least positive. The authors of this meta-analysis drew attention to the substantial heterogeneity in effects and concluded that the effectiveness of the growth mindset interventions depended on various factors, such as the context of the study. The Macnamara & Burgoyne (2023) review and meta-analysis were more critical of growth mindset interventions as the average effect was even smaller (d=.05) than the previous meta-analysis and was insignificant after correcting for publication bias. They concluded that the actual impact of growth mindset interventions is minimal and biased.

Considering the controversial findings on the effectiveness of growth mindset interventions, it would be worth considering alternatives that can positively influence students' reactions to errors. This will be covered in the second study of this paper.

1.5. Aims of the paper

Students need to learn from their errors to improve their academic performance (Grassinger & Dresel, 2017). However, learning from errors is not easy (Eskreis-Winkler & Fishbach, 2022), and when students endorse an implicit entity theory of intelligence, it can be even more challenging. Students with an entity theory view errors as proof of the inadequacy of their fixed ability. Believing that their intelligence is insufficient to succeed on the first attempt and

that there's nothing they can do to change this leads to negative emotional reactions, such as stress and anxiety (Cimpian, 2010) and may cause students to adopt self- protection behaviors (Zentall & Junglen, 2017) to avoid facing their uncomfortable emotional states. Students who hold an entity implicit theory of intelligence pay less attention to error-related feedback, particularly informative feedback that indicates the correct answer (Dweck, 2006). Without adequate attention, the information conveyed by errors cannot be processed or memorized, hindering improvements in academic performance (Rayner, 1998). This paper aims to understand students' reactions to error-related feedback and explore ways to motivate students, especially those with an entity theory, to focus on the information contained in errors. Existing research has shown that students' implicit theories of intelligence influence their responses to errors, particularly regarding affective and attentional reactions (Mangels et al., 2006; Moser et al., 2011; Schroder et al., 2017). However, most prior studies have relied on self-reports, behavioral data, or neurophysiological measures (e.g., event-related potentials, ERPs) to capture students' reactions. Little or no research has explored the relationship between implicit theories of intelligence and subsequent reactions using physiological measures such as eye movement and heart rate variability. To address this gap in the literature, this research will utilize physiological measures. By employing HRV as an indicator of stress and autonomic regulation, this study aims to capture students' implicit affective responses to error-related feedback in real time. Decreased HRV (lower RMSSD levels) has been associated with heightened stress reactivity and maladaptive emotional regulation (Appelhans & Luecken, 2006), making it a valuable physiological measure for assessing the extent to which students perceive errors as threats. By analyzing eye-tracking data (fixation duration and number of fixations), this study aims to determine whether students with different implicit theories of intelligence engage differently with feedback, particularly corrective feedback that provides the correct response.

In the first study, we will try to replicate neurophysiological findings that showed that students with an entity theory paid more attention to evaluative feedback and less attention the informative feedback compared to students with an incremental theory of intelligence. The first study will also try to gain a better understanding of the affective reaction that can be triggered by error-related feedback.

The second study will focus on ways to influence students' attentional and affective reactions to error-related feedback to facilitate learning from errors. The effectiveness of an introduction to the functionality of errors and giving students a choice will be tested.

Both studies will use a learning task (a multimedia lesson with comprehension questions) where participants will be confronted with errors.
This paper will present research that uses physiological measures of heart rate variability and eye movements to identify the differences between students with an entity theory of intelligence and those with an incremental theory. These measures will give insight into the affective reactions and attentional responses following feedback of error. To our knowledge, our study is the first to assess implicit theories using these physiological measures.

The general aims of this paper are as follows:

(1) gain a better understanding of the individual differences between students with an implicit entity theory of intelligence and those with an incremental theory when faced with error-related feedback.
(2) motivate students to learn from their errors regardless of their implicit theory of intelligence.

2. Experimentation

2.1. General method

The two experiments used the same learning task and followed one general procedure.
The experimental procedure received the approval of the university's ethical committee (CER-2022-02-04)

2.2.1. Learning task

The learning task consisted of a multimedia lesson (an animation video containing images, words, and a voice-over; see figure 1) on the neuroscience of imagination and comprehension questions. The material was pretested by undergraduate psychology students, who did not take part in the present study but were instructed to watch the video and answer 22 comprehension questions. They were also asked to give feedback on the animation video (the quality of images, the sound level, the accessibility of the concepts). The modified version of the animation video and the 9 least well-answered questions were kept for the present study. Questions were either literal ("*The two hemispheres are separated by:*") or inferential ("*Which of these activities requires prefrontal synthesis? "If you want to imagine a green apple, the color shift will take place at:"*). The lesson was divided into three chapters. The first chapter was 131 seconds long and presented the brain's different lobes and functions. The second chapter, 149 seconds long, introduced the lobes that play a role in imagination, and the last chapter lasted 138 seconds and explained the process behind imagining a new combination of objects. For each chapter, three single-choice questions were constructed.

Each question was associated with three pieces of feedback: one on the correctness of the answer was given (evaluative feedback, also called knowledge of the result, KR) and two informative feedback: one that gives the correct answer, (knowledge of the correct response, KCR), and one that gives additional information on the correct answer (Info). A "next" button appeared after 3 seconds, which allowed the participant to display the next feedback or question.

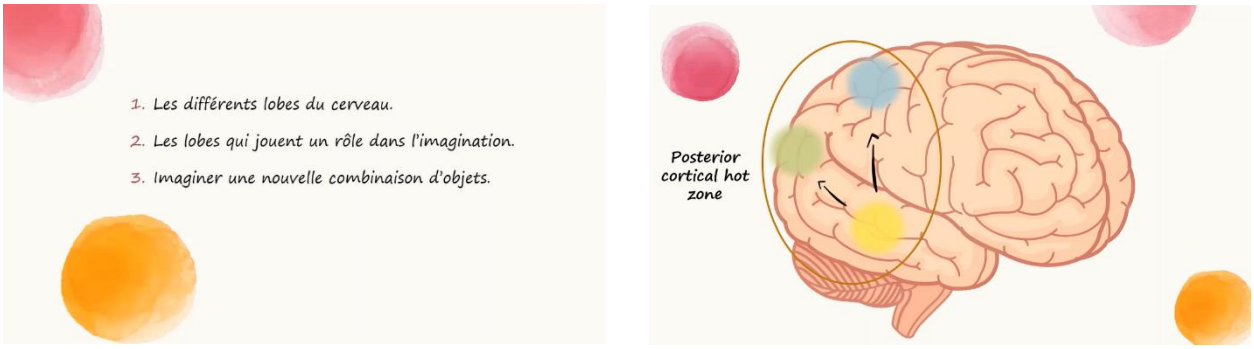


Figure 1. Screenshot from the animation video on the neuroscience of imagination.

2.2.2. Measures

Students' implicit theories of intelligence.

The Implicit Theories of Self-Oriented Intelligence scale (Ahmida et al., in press) was used to measure students' implicit theories of intelligence, which is the translated and validated French version of De Castella & Byrne's (2015) scale.

The 8 scale items reflect a first-person claim about the malleability or fixedness of one's intelligence. Four items represent incremental beliefs (ex: *I believe I can always substantially improve on my intelligence*) whereas the other four items represent entity beliefs (ex: *My intelligence is something about me that I personally can't change very much*). Students were asked to rate each item using a Likert scale ranging from *totally disagree* (1) to *totally agree* (6). The four incremental items were reversed, and the average score across all 8 items was used to measure students' entity implicit theories about their intelligence.

The scale's internal consistency was good for the first and the second experiment (α_{exp1} = .95, α_{exp2} = .94)

Students' interest.

Students' willingness to learn is affected by their interest in a subject (Schiefele, 1991). It is associated with a positive affect during learning and persistence leading to increased learning (Ainley et al., 2002). Interest was measured using the thematic interest subscale from Chainon

(2017) to control this effect. Thematic interest (TI) reflects the learner's interest in the neuroscience theme. The subscale consists of 4 items on a 7-point Likert scale ranging from *strongly disagree* (1) to *strongly agree* (7).

The subscale had good internal consistency for both experiments (α_{exp1} = .88, α_{exp2} = .84).

Eye movement recording.

Eye tracking methodology was used to measure students' attention. Eye movement data was collected using a Tobii Pro Nano eye tracker with a sampling rate of 60 Hz. The eye tracker, which takes the form of a bar (6.7'), was attached to the bottom of the screen using an adhesive mounting bracket provided with the eye tracker. The screen was positioned 60 cm away from the participant. The eye tracker was monitored by PsychoPy2 (Peirce et al., 2019) via Tobii Pro Lab (Version 1.162). Eye movement data was registered in Tobii Pro Lab which algorithm was used to compute fixations.

Electrocardiogram (ECG) recording.

Changes in heart rate variability were measured as an indicator of a possible stress reaction to error feedback. Heartbeats were measured using a Wireless Echocardiogram Sensor, TEA CAPTIV T-Sens ECG with a sampling rate of 256 Hz. Electrodes were positioned directly on the thorax of each participant, forming a diagonal from the right shoulder to the left hip. To control respiratory sinus arrhythmia, participants' respiration was measured indirectly using a Wireless Sensor Strap (sample rate 32Hz) that measures thoracic movements.

Prior knowledge questionnaire

Before starting the learning task, students answered three open-ended general knowledge questions on the neuroscience of imagination to assess their prior understanding of the topic.

Learning questionnaire

To check if students learned from their errors, they took a 15-question comprehension quiz. Nine of the questions were the same as those in the learning task, and six were new. These new questions were either literal or inferential.

2.2. General procedure

The experiment, including the learning task and questionnaires, was implemented using PsychoPy2 (Peirce et al., 2019).

Experimental sessions were conducted individually. At the start of each session, participants were informed that they would complete a learning task while their heart rate and eye movements were recorded. Following informed consent, two electrodes were placed on the participant's thorax, and the signal quality was verified. Participants then underwent a 5-

minute baseline heart rate measurement, maintaining stillness. Subsequently, they completed initial questionnaires assessing prior knowledge and thematic interest. Participants then positioned their heads on a chin rest for eye-tracking calibration and were instructed to maintain a steady head position throughout the learning task. Upon completion of the task, ECG and eye-tracking recordings were terminated, and participants were allowed to rest. To conclude the session, participants completed a 15-question final comprehension quiz designed to evaluate learning outcomes. Finally, participants completed the scale assessing implicit theories of intelligence.

2.3. Data preparation and processing

Eye movement data files were exported from Tobii Pro Lab, which algorithm computed fixations, fixation durations, and area of interest (AOI) hits (1 if fixation falls in the rectangle surrounding the feedback and 0 if fixation falls outside the rectangle). As both studies are interested in attention to feedback, the three types of feedback (figure 2) displayed during the learning task were considered as areas of interest, and so students' attention to feedback was measured using the number of eye fixations and eye fixations duration per area of interest (AOI).

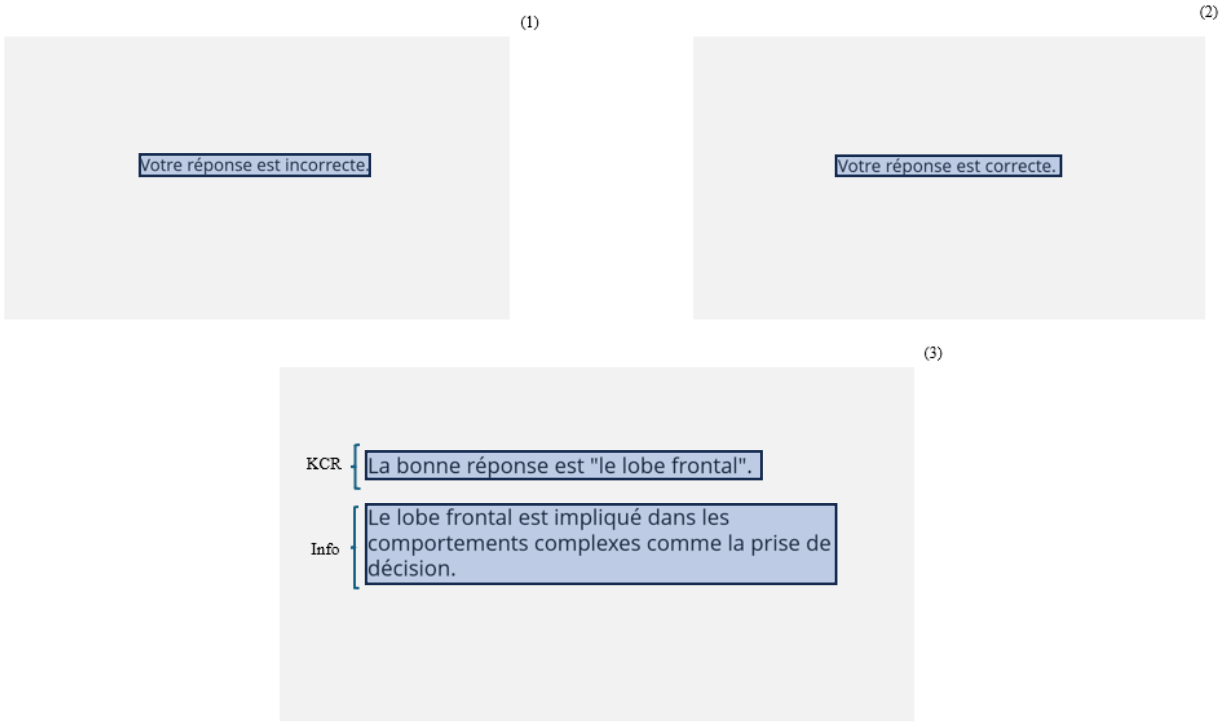


Figure 2. The different types of feedback and their corresponding Area of interest (the blue rectangles). (1) Incorrect KR feedback (2) Correct KR feedback (3) example of KCR and Info feedback.

The quality of ocular data was evaluated when the feedback was displayed on the screen and only participants with 90% of the gaze sample were retained. In other words, at least one eye or both eyes should have been properly detected during the feedback presentation 90% of the time. AOI hits per feedback type (KR, KCR, and Info) were summed across each question as well as AOI hits duration.

Cardiac activity data was processed using NeuroKit2 (Makowski et al., 2021). The root mean square of successive differences between heartbeats (RMSSD) was used as a parameter of heart rate variability. An RMSSD value was computed for the rest phase per participant. Because we are interested in the reaction to evaluative feedback, RMSSD was calculated for each KR feedback.

The participants' interest in the theme of neuroscience of imagination was calculated by averaging the thematic interest subscale item scores.

Participants' responses to the implicit theory scale were summed up, and two groups were created using a median split. Participants who were above the median were considered as students with an entity theory and participants who were under the median were considered as individuals with an incremental theory of intelligence.

The learning-from-errors indicator was calculated by subtracting the final score of each question in the learning questionnaire (0 for incorrect, 1 for correct) from its initial score during the learning task (0 for incorrect, 1 for correct). A value of 1 indicated that a learning from an error occurred.

The six questions from the learning questionnaire that were not part of the learning task were not analyzed, as the focus was solely on learning from errors. These questions were included as distractors (or fillers) to prevent participants from guessing the study's true objective.

3. Experiment 1: The exploration of students' reactions to errors with eye-tracking and cardiac activity

Implicit theories of intelligence shape how students react when faced with setbacks like errors. Schröder et al. (2017) found that young children with an incremental theory demonstrated higher attention location to mistakes compared to students with an entity theory while performing a go/no go task. Similar results were found for undergraduate students (Moser et al., 2011) while performing a flanker task. Higher attention location was associated with improved subsequent performance. In these studies, no explicit feedback was given, but similar reaction patterns were observed in a study where feedback was given. Individuals with an incremental theory paid more attention to error-related learning feedback in a general

knowledge test compared to students with an entity theory, but when performance (evaluative) feedback was given, it was the undergraduate students with an entity implicit theory of intelligence who exhibited enhanced attention (Mangels et al., 2006). Students with an entity theory are more interested in feedback about their performance, correct or incorrect, than in feedback that could help them mend their errors (Dweck, 2010). When it comes to students with an entity theory, evaluative feedback can either confirm their ability in the case of a correct answer or invalidate it in the case of an error. In other words, evaluative is not only an evaluation of their performance now but an evaluation of their intelligence, an ability that they cannot change. Therefore, individuals with an entity theory not only pay more attention to evaluative feedback, but their beliefs influence their affective reaction toward this type of feedback (Mangels et al., 2006). They experience more negative affective reactions when met with errors than those with an incremental theory (Robins & Pals, 2002). This study aims to characterize students' reactions toward error-related feedback based on their implicit theories of intelligence and to replicate neurophysiological findings using eye movements and heart rate variability. It will focus on the stress reaction that can be generated by error-related evaluative feedback and on the attention allocated to both evaluative and informative feedback.

The first experiment hypotheses are as follows:

H1. Effect of mindset on cardiac activity

Because students with an entity theory of intelligence experience more negative affective reactions when faced with challenges (Burnette et al., 2020), a difference in heart rate variability should be observed between the baseline period and KR feedback for them but not for students with an incremental theory of intelligence.

H2. Effect of mindset on attention to feedback

Attention to feedback should differ according to students' implicit theory of intelligence and the type of feedback (Dweck, 2006; Schröder et al.,2017). It is expected that students with entity theory are expected to be less attentive to error messages than incremental theory, especially KCR and Info.

H3. Effect of mindset on learning from error

To the extent that learners who pay attention to error messages will be processed (Chun et al., 2011), the learning-from-error score should be higher for students with an incremental theory compared to students with an entity theory.

3.1. Participants

An a priori power analysis using G*power version 3.1.9.7 (Faul et al., 2007) was conducted to determine the minimum sample size. A power analysis for an F test (e.g., ANOVA) indicated that a sample of $N = 22$ was required to achieve 95% power for detecting a medium effect ($d = 0.5$) at a significance level of $\alpha = .05$. Thirty-seven undergraduate psychology students, with no prior knowledge on the topic of the neuroscience of imagination participated in the experiment. They were mostly female students (89%). Their vision was either normal or corrected. Their age ranged from 18 to 48 ($M = 20.1$, $SD = 5.10$). All participants were enrolled in the first-year bachelor psychology degree program at Paris Nanterre University and received a 2.5 credit score for their participation.

3.2. Data analysis

Analyses were performed using R studio (R version: 4.3.3). Only incorrect trials, in which participants failed to answer the comprehension question correctly, were included in the analysis (48%).

3.2.1. Heart rate variability

R-peak irregularities, likely due to artifacts or ectopic beats, rendered 48% of the data unsuitable for reliable RMSSD analysis.

A linear mixed model was computed using the lme4 package version 1.1-34 (Bates et al., 2014) to compare participants' RMSSD levels between the rest phase and the evaluative error-related feedback based on their implicit theories of intelligence. The RMSSD level was considered as the predicted variable. We evaluated model fit using the ggResidpanel package version 0.3.0 (Goode & Rey, 2022). The first RMSSD model displayed poor fit, so we transformed the variable RMSSD level using a Box-Cox transformation. The final model included implicit theory group and measure phase as fixed effects, the interaction between the fixed effects, and participant as the random effect.

3.2.2. Eye movements

Six participants were removed from the eye movement analysis because of data validity (<90%). To test the effect of implicit theories of intelligence and the type of error-related feedback on the number of AOI hits, the predicted variable, a generalized linear mixed model, was computed using the glmmTMB package, version 1.1.7 (Brooks et al., 2017). The model fit was assessed with the Dharma package, version 0.4.6 (Hartig, 2022). The final model was a negative binomial mixed model that included implicit theory group, feedback type as fixed effects; the interaction between implicit theory group and feedback type; and participant as

the random effect. The surface of the area of interest was added as an offset variable to adjust for differential AOI surfaces.

To test the effect of implicit theories of intelligence and the type of feedback on AOI hit durations, first, AOI durations were standardized by dividing the durations by the corresponding AOI surface. A general linear mixed model (Tweedie family with log link) was computed using the glmmTMB package, version 1.1.7 (Brooks et al., 2017) and assessed with the Dharma package, version 0.4.6 (Hartig, 2022). The model included implicit theory group, feedback type as fixed effects, the interaction between implicit theory group and feedback type, and participant as the random effect.

3.2.3. Learning from error score

Because of the non-normality of the data, a Mann-Whitney U independent samples test was performed to evaluate whether learning from error scores differed depending on participants' implicit theory of intelligence.

3.3. Results

3.4.1. Preliminary analysis

Correlations between the implicit theory scores, thematic interest score, learning-from-error score, AOI hits and AOI hit durations are presented in Table 1.

Table 1

Means, standard deviations, and correlations with confidence intervals

Variable	*M*	*SD*	1	2	3	4
1. Mindset	19.48	9.35				
2. Thematic interest	21.00	4.31	.04 [-.03, .11]			
3. Learning score	3.45	2.88	-.16** [-.22, -.09]	.04 [-.03, .11]		
4. AOI hits	16.03	32.65	-.13** [-.19, -.06]	-.04 [-.11, .03]	.39** [.34, .45]	

5. AOI hit durations	3917.89	8507.77	-.11** [-.18, -.04]	-.05 [-.12, .02]	.39** [.33, .45]	.92** [.91, .93]

Note. M and *SD* are used to represent the mean and standard deviation, respectively. Values in square brackets indicate the 95% confidence interval for each correlation. The confidence interval is a plausible range of population correlations that could have caused the sample correlation (Cumming, 2014). * indicates $p < .05$. ** indicates $p < .01$.

The correlations indicate moderate negative relationships between mindset and learning score ($r = -.16$) and between mindset and AOI hits ($r = -.13$), both of which are statistically significant. The learning score shows a positive correlation with AOI hits ($r = .39$) and AOI hit durations ($r = .39$), both significant at the $p < .01$ level.

3.4.2. Stress reaction to error-related feedback.

The stress reaction model included implicit theory group (Entity vs Incremental) and measure phase (rest vs evaluative incorrect feedback) as fixed effects as well as the interaction between these effects; participants as a random effect; and a transformed RMSSD measure as the dependent variable. The model's total explanatory power was $R^2_{conditional} = .43$ and the part related to the fixed effects $R^2_{marginal} = .08$.

The effect of the measure phase was significant ($F(1, 106.54) = 10.93$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .09$). The RMSSD levels were higher in the rest phase compared to the evaluative feedback (KR) phase ($EST = .35$, $t(106.54) = 26.11$, $p < .01$). The interaction effect between the implicit theory group and measure phase was significant, $F(1, 106.54) = 7.68$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .07$. The difference of RMSSD levels between the rest and the evaluative feedback phase is lower for participants with an incremental theory than participants with an entity theory ($EST = -.32$, $t(106.54) = -2.77$, $p < .01$).



Figure 3. RMSSD levels as a function of implicit theory group and measure phase.

3.4.2. Attention to error-related feedback.

Effects on AOI hits.

The first attention model included implicit theory group (Entity vs Incremental), and feedback type (KR, KCR, Info) as fixed effects; the interaction between implicit theory group and feedback type; participants as a random effect; AOI surface as an offset variable; and the number of AOI hit as count dependent variable. The model explained a total of *Efron R2* = .52.

The number of AOI hits was greater for participants with an incremental theory ($EST = 1.34$, $z=2.67$, $p < .01$) than for participants with an entity theory. The main effects of feedback type and thematic interest were not significant.

The interaction effect between the implicit theory group and feedback type was significant, ($\chi^2(2, 290) = 7.49$, $p = .02$). Contrast analysis showed that Participants with an incremental theory paid more attention to the KCR feedback (greater number of AOI hits) compared to participants with an entity theory ($EST = -1.34$, $p < .01$). No significant difference was found for KR and Info feedback between participants with an incremental theory and those with an entity theory.

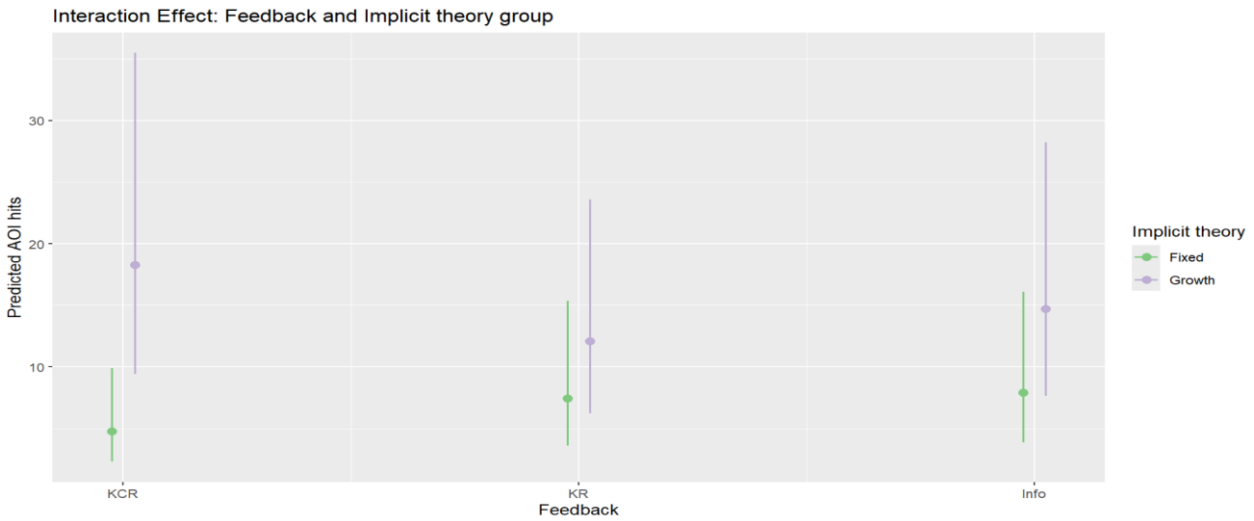


Figure 4. AOI hits as a function of implicit theory group and feedback type.

Effects on AOI hit durations.

The second attention model included implicit theory group (Entity vs Incremental) and feedback type (KR, KCR, Info) as fixed effects; the interaction between implicit theory group and feedback type; participants as a random effect; AOI surface as an offset variable; and the standardized AOI hit durations as a dependent variable.

The main effect of the implicit theory group was marginal ($\chi^2(1, 290) = 2.82$, $p = .09$). The main effect of feedback type and thematic interest were not significant. The interaction between implicit theory group and feedback type was also not significant. However, simple contrasts revealed that participants with an incremental theory of intelligence had greater AOI hit durations than participants with an entity theory of intelligence ($EST = -1.26$, $p = .02$). The differences in AOI hit durations for KR and Info between incremental and entity groups were not significant.

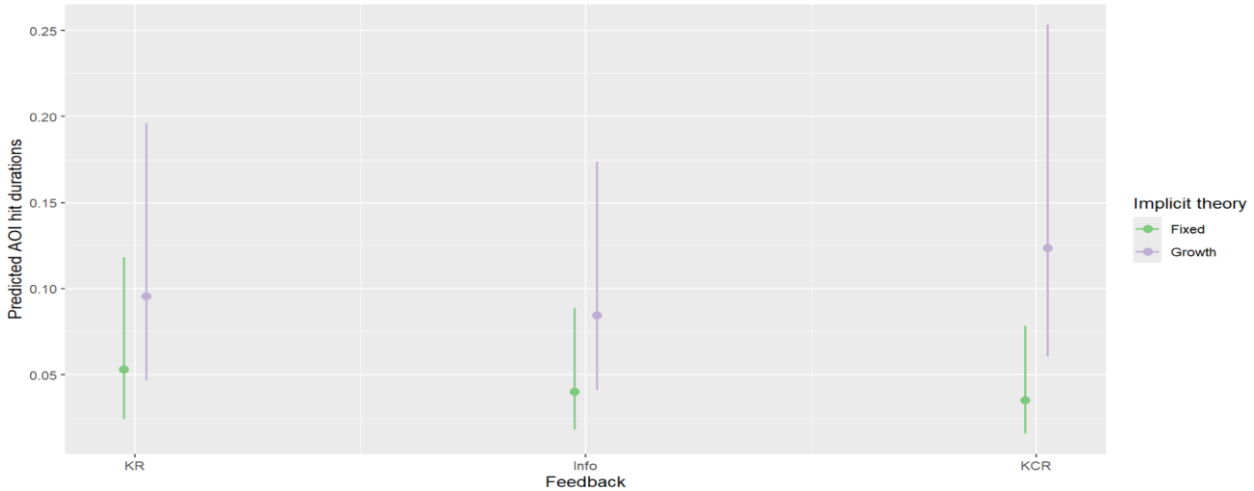


Figure 5. AOI hit durations as a function of implicit theory group and feedback type

3.4.3. Learning from errors

Regarding the learning-from-errors score, the Mann-Whitney U test revealed that participants with an entity theory had lower learning scores (M = .301, SD = .514) compared to participants with an incremental theory (M = .422, SD = .539), U = 12156, $p < .05$, d = .11.

3.5. Discussion Study 1

The purpose of study one was to investigate students' reactions to error-related feedback in terms of stress and attention. Despite the low error rate in the learning task (<50%), the results were by our hypotheses. As hypothesized, the drop in heart rate variability between rest and the moment when participants received evaluative feedback was greater for the students with an entity theory than those with an incremental theory. A decrease in heart variability, as measured by the RMSSD, indicates that a stress reaction was triggered (Appelhans & Luecken, 2006). As Mangels et al. (2006) mentioned in their paper, evaluative feedback, which gives information on one's performance, is more affectively salient to students with an entity theory of intelligence than participants with an incremental theory, which is in line with our findings. The second hypothesis concerned the different attention levels paid to error-related feedback based not only on the incremental theory of intelligence but also on the type of feedback. Regardless of the type of feedback, students with an entity theory paid less attention to the displayed error-related feedback (informative feedback) than participants with an incremental theory. Unlike Mangels et al. (2006) and contrary to Dweck's (2006) assumptions, no difference was observed between students with an entity theory and students with an incremental theory for the evaluative feedback ("your answer is incorrect"). No difference was observed for the informative feedback that gave further explanations on the correct response. Still, there was a difference between entity and students with an incremental theory when it came to KCR (Knowledge of correct response) feedback. Students with an incremental theory paid more attention to the correct response compared to students with an entity theory which could explain why students with an incremental theory had better learning from error scores than students with an entity theory. By paying more attention to the correct response given, students with an incremental theory could process and memorize the information given by the feedback. They were able to correct their answers on the final test. The findings of this first experiment have confirmed that students with an entity theory have less adaptive reactions toward errors than students with an incremental theory. The second experiment tries to modify these reactions positively to make learning from errors possible for all students regardless of their implicit theory of intelligence.

4. Experiment 2: Encourage error-related feedback processing

Our first study confirmed previous findings about implicit theories of intelligence and their reactions to error-related feedback. Students with an entity theory of intelligence do not seem to benefit as much from errors compared to students with an incremental theory of intelligence because they pay less attention to the information following an error. Their belief in the fixedness of their abilities triggers negative affective reactions and hinders any possible adaptive strategy that can lead to a correction. Many interventions have tried to counter the negative effects of an entity theory by developing a more incremental point of view, mostly using either a video or a text that gives evidence of the malleability of intelligence (Burnette et al., 2023) but the effect of these interventions was often small or insignificant (Macnamara & Burgoyne, 2023). Another way would be to change how students, irrespective of their implicit theory of intelligence, perceive errors and to bring to the fore the functionality of errors. When testing their growth mindset intervention, Zhao et al. (2023) observed that positive changes in the beliefs about failure were accompanied by the willingness to adopt positive strategies when faced with difficulties at school. The second experiment, therefore, aims to test if a simple introduction to the functionality of errors would change students' reactions toward error-related feedback, especially for students with an entity theory of intelligence. Believing that errors are an opportunity to learn and a potential for self-improvement was proven to be a predictor of adaptive affective motivational reactions toward errors, allowing the adoption of actions following errors that enable learning from errors (Tulis et al., 2018). Students who have been sensitized to the functionality of errors and their importance in the development of abilities would have more adaptive reactions toward errors and be keen to discover the correct responses and explanations that will help them overcome their errors.

In addition to the introduction, this experiment will test if giving students the choice to display or not display the feedback will motivate them to pay more attention to the corrective feedback. Based on the self-determination theory (Deci & Ryan, 2000), the need for autonomy, which can be defined as the perception of being at the origin of one's behavior, is one of the three fundamental psychological needs essential for individuals' intrinsic motivation. If students actively choose to receive corrective feedback, they will experience a sense of autonomy, which will positively impact their intrinsic motivation to pay attention and process the correct answer. In a poster design task (Cutumisu & Schwartz, 2016), the more students chose to receive critical feedback, the better they performed, and the more students

received critical feedback without choosing, the worse they performed. In addition, students who could choose to receive the feedback experienced more joy in designing the posters compared to those who automatically received the feedback. Therefore, offering the choice to display the corrective feedback could positively impact how students interact with this feedback, leading to more attention and better post-error performances, especially for students with an entity theory who could regain a sense of control over their learning.

The experiment 2 hypotheses are as follows:

H1. The effect of the introduction of the functionality of errors before the multimedia lesson:

Research suggests that perceiving errors as learning opportunities is linked to positive outcomes, including adaptive affective-motivational and action-related reactions (Tulis et al., 2018), as well as a greater tendency to use positive strategies when facing errors (Zhao et al., 2023). By framing errors in a positive light before the multimedia lesson through the introduction of an error functionality, we propose the following hypotheses

H1.1. Students with an entity theory will display less distress when encountering error-related evaluative feedback when they are introduced to the functionality of errors than when they are not.

H1.2. Regardless of their implicit theory of intelligence, students who were introduced to the functionality of errors will choose to display informative feedback more often than students who were not.

H1.3. Students who were introduced to the functionality of errors will pay more attention to the informative error-related feedback compared to students who were not, this effect will be stronger for students with an entity theory.

H1.4. Regardless of their implicit theory of intelligence, students will learn more from their errors when they are introduced to the functionality of errors than when they are not.

H2. The effect of the choice to display the feedback:

Drawing on Self-Determination Theory, which posits that having a choice increases the sense of autonomy and positively impacts intrinsic motivation (Deci & Ryan, 2000), and empirical findings indicating that *choosing* critical feedback enhances learning compared to passively receiving it (Cutumisu & Schwartz, 2016), we propose the following hypotheses regarding the effect of choosing to display feedback:

H2.1. Students who choose to display corrective feedback will pay more attention to the informative feedback compared to those who receive it automatically following evaluative

feedback. This difference is expected to be more pronounced for students with an entity theory.

H2.2. Regardless of their implicit theory of intelligence, students who choose to display the corrective feedback will learn more from their errors than those who automatically receive the corrective feedback.

H3. An interaction effect will be observed between the introduction and the choice to display the informative feedback on the attention paid to this feedback.

Because the introduction may create a more receptive attitude towards errors, and the subsequent choice to view feedback can further enhance students' sense of autonomy and engagement with the corrective information, it is expected that students who were introduced to the functionality of errors and had the choice to display the feedback will pay more attention to the corrective feedback compared to students in other conditions, particularly for those with an entity theory.

4.1. Participants

An apriori power analysis using G*power version 3.1.9.7 (Faul et al., 2007) was conducted to determine the minimum sample size for F tests (e.g., ANOVA). The required minimum sample size to achieve 95% power for detecting a medium effect (d = .5) at a significance level of α = .05 was N = 48.

Ninety-three undergraduate psychology students participated in the second experiment, the majority of whom were female (90%). Their ages ranged from 18 to 28 years (M = 19, SD = 1.72), and they had no prior knowledge of the neuroscience of imagination. All participants had a good level of French and either normal (58%) or corrected vision.

4.2. Additional Materials

4.2.2. Introduction video

A short, one-minute animated video served as an introduction that demonstrated how errors function as a valuable part of the learning process. The video acknowledges that making errors can be unpleasant but illustrates how errors serve as a learning opportunity by helping us modify inappropriate information and strategies.

4.2.2. Students' anxiety

The French adaptation of the State-Trait Anxiety Inventory by Spielberger (1983) (STAI-Y, Gauthier & Bouchard, 1993) was used to assess students' state anxiety. Participants

responded to a 20-item scale (ex: *I feel secure*, *I feel nervous*). Responses ranged from not at all (1) to very much (4). The scale showed good internal consistency (α=.93).

4.2.3. Student's choice to seek informative feedback.

The number of times students clicked on the "more information" button was recorded to measure students' motivation to discover the informative feedback.

4.3. Procedure

Participants were randomly assigned to one of the four conditions (no intro/no choice, intro/no choice, no intro/choice, and intro/choice). The number of participants per group is presented in Table 3. In the *intro* conditions, participants visualized the introduction video on the functionality of errors before the learning module. Participants in the *choice* conditions were informed that they had to click on the "more information" button to display the correct response and the additional information. They also had the choice to click on the "next" button to move directly to the next question.

4.4. Data analysis

Only incorrect trials (80%) were considered for data analyses. The number of incorrect trials per condition (Introduction x possibility to choose) is presented below (Table 2).

Table 2

Percentage of incorrect and correct trials per condition (Introduction x Possibility to choose)

Choice	**Intro**	Incorrect	Correct
No	No	100%	0%
	Yes	75.1%	24.9%
	Total	88.1%	11.9%
Yes	No	69.6%	30.4%
	Yes	71.7%	28.33%
	Total	70.7%	29.3%
Total	No	86.2%	13.8%
	Yes	73.4%	26.6%
	Total	79.9%	20.1%

Analyses were performed using R studio (R version: 4.3.3).

4.3.1. Heart rate variability

Artifacts or ectopic beats, manifesting as R-peak irregularities, compromised the quality of 44% of the data, making it unsuitable for reliable RMSSD analysis.

A linear mixed model was computed using the lme4 package version 1.1-34 (Bates et al., 2014) to compare participants' RMSSD levels between the rest phase and the evaluative error-related feedback based on their implicit theories of intelligence and the introduction to the functionality of errors. The RMSSD level was considered as the predicted variable. We evaluated model fit using the ggResidpanel package version 0.3.0 (Goode & Rey, 2022). The first RMSSD model displayed poor fit, so we transformed the variable RMSSD level using a Box-Cox transformation. The final model included an implicit theory group, measure phase, and introduction as fixed effects; the interaction between the fixed effects; and participant as the random effect.

4.3.2. Eye movement

Nine participants were removed from the eye movement analysis because of data validity (<90%). Only the attention allocated to the KCR feedback was focused.

General linear mixed models were computed using the glmmTMB package, version 1.1.7 (Brooks et al., 2017). Model fits were assessed with the Dharma package, version 0.4.6 (Hartig, 2022).

To test the effect of implicit theories of intelligence, the introduction, and the possibility to choose, on the number of AOI hits, the predicted variable, a generalized linear mixed model was computed. Correlations between the number of AOI hits and the thematic interest subscale were calculated. As correlations were not significant, the thematic interest scores were not added to the model (see Table 2). The final model was a negative binomial mixed model that included implicit theory group, introduction, possibility to choose as fixed effects; the interaction between implicit theory group, introduction, and the possibility to choose; and participant as the random effect. The surface of the area of interest was added as an offset variable to adjust for differential AOI surfaces. Following Dharma reference recommendations, a dispersion and a zero-inflation correction were necessary to improve the model's fit.

To test the effect of implicit theories of intelligence, the introduction, and the possibility to choose, on AOI hit durations, the predicted variable, first durations were standardized according to the AOI surface by dividing durations by the corresponding AOI surface. A

general linear model was computed. Kolmogorov-Smirnov test was significant showing a significant deviation from the assumed distribution. The standardized AOI hit durations were normalized and transformed according to Smithson & Verkuilen (2006). The final model was fitted using the beta family distribution that helped to correct the deviation. A dispersion correction was also added to the model that included implicit theory group, introduction, possibility to choose as fixed effects; the interaction between implicit theory group, introduction, and the possibility to choose; and participant as the random effect.

4.3.3. Choose to display the informative feedback

A binomial regression using lme4 package version 1.1-34 (Bates et al., 2014) was computed to test the effect of the introduction on students' choice to display the informative feedback. Feedback displayed (0: No, 1: Yes) was the dependent variable, and the introduction and implicit theory were the independent variables. The participant was added as a random effect.

4.3.4. Learning from errors score

To evaluate whether learning from errors score differed depending on participants' implicit theory of intelligence, the introduction, and the possibility to choose, we calculated a binomial regression using lme4 package version 1.1-34 (Bates et al., 2014). The learning score (0: not learned or 1: learned) was the dependent variable, and implicit groups, introduction, and the possibility to choose the independent variables. The participant was added as a random effect.

3.4. Results

3.4.1. Preliminary results.

Group equivalence.

The results of a robust two-factor ANOVA revealed no statistically significant difference between the groups in their implicit theory scores ($Q = 1.51$, $p > .05$), suggesting that the groups were comparable on this variable.

Table 3.

Number of participants and the mean implicit theory score per group.

		Implicit theory score		
Introduction	Possibility to choose	*N*	*M*	*SD*
Intro	Choice	20	17.3	7.50
Intro	No choice	21	17.1	7.70
No Intro	Choice	19	18.5	7.12
No Intro	No choice	23	15.6	9.05

Correlations.

The table below presents mean, standard deviation, and correlations of the studied variables.

Table 4

Means, standard deviations, and correlations with confidence intervals

Variable	*M*	*SD*	1	2	3	4	5
1. Mindset	17.16	7.66					
2. Thematic interest	19.84	3.88	.01 [-.03, .06]				
3. Display feedback	0.72	0.45	-.02 [-.07, .02]	-.05* [-.09, -.00]			
4. AOI hit	39.77	62.70	.02 [-.02, .06]	-.01 [-.05, .04]	.29** [.24, .33]		
5. AOI hit duration	9864.79	16141.62	.02 [-.02, .06]	-.01 [-.06, .03]	.26** [.22, .30]	.93** [.92, .94]	
6. Learning	5.51	3.02	-.05* [-.10, -.01]	-.05* [-.10, -.01]	.38** [.34, .42]	.11** [.07, .15]	.12** [.07, .16]

Note. M and *SD* are used to represent the mean and standard deviation, respectively. Values in square brackets indicate the 95% confidence interval for each correlation. The confidence interval is a plausible range of population correlations that could have caused the sample correlation (Cumming, 2014). * indicates $p < .05$. ** indicates $p < .01$.

3.4.2. The Stress reaction to error-related feedback.

The first stress reaction model included implicit theory group (Entity vs Incremental), the measure phase (rest vs evaluative feedback), and introduction (No-Intro vs Intro) as fixed effects as well as the interaction between these effects; participants as a random effect; and a transformed RMSSD measure as the dependent variable. The interaction effects were not significant. A second model was computed, keeping only the main fixed effects (Table 5). Comparisons between the two models showed that the second model provided a slightly better fit ΔAIC = 6.

The final model's total explanatory power was $R^2_{conditional}$ = .54 and the part related to the fixed effects $R^2_{marginal}$ = .07.

Table 5.

Fixed effects and interactions for RMSSD levels.

		Model1			**Model2**	
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	2.79	2.48 – 3.10	**<0.001**	2.83	2.58 – 3.08	**<0.001**
mindsetgroup [Growth]	0.14	-0.29 – 0.58	0.519	0.14	-0.14 – 0.42	0.318
RMSSD [RMSSD]	-0.25	-0.48 – -0.03	**0.027**	-0.34	-0.45 – -0.24	**<0.001**
Intro [Yes intro]	0.18	-0.25 – 0.61	0.409	0.13	-0.15 – 0.41	0.363
mindsetgroup [Growth] × RMSSD [RMSSD]	-0.01	-0.34 – 0.31	0.937			
mindsetgroup [Growth] × Intro [Yes intro]	0.05	-0.55 – 0.65	0.882			
RMSSD [RMSSD] × Intro [Yes intro]	-0.12	-0.43 – 0.19	0.450			
(mindsetgroup [Growth] × RMSSD [RMSSD]) × Intro [Yes intro]	-0.08	-0.51 – 0.36	0.733			
Random Effects						
σ^2	0.24			0.24		
τ_{00}	$0.25_{Participant}$			$0.25_{Participant}$		
ICC	0.51			0.51		
N	$62_{Participant}$			$62_{Participant}$		
Observations	317			317		
Marginal R^2 / Conditional R^2	0.077 / 0.549			0.075 / 0.543		
AIC	588.968			576.394		
log-Likelihood	-284.484			-282.197		

H1.1. The effect of the introduction on the stress reaction.

The effect of the measure phase was significant, $F(251.21,1) = 38.59$, $p<.001$, *eta2* = .13. RMSSD levels were significantly lower in the evaluative feedback phase compared to the rest phase (*EST* = -.34, $t(251.21) = -6.21$, $p < .001$) for all participants regardless of their implicit theory of intelligence and whether they watched the introduction video (figure 6). The main effects of the implicit theory group and introduction were not significant ($F(53.86,1) = 1$, *ns*, $F(54.08,1) = .83$, *ns*, respectively).

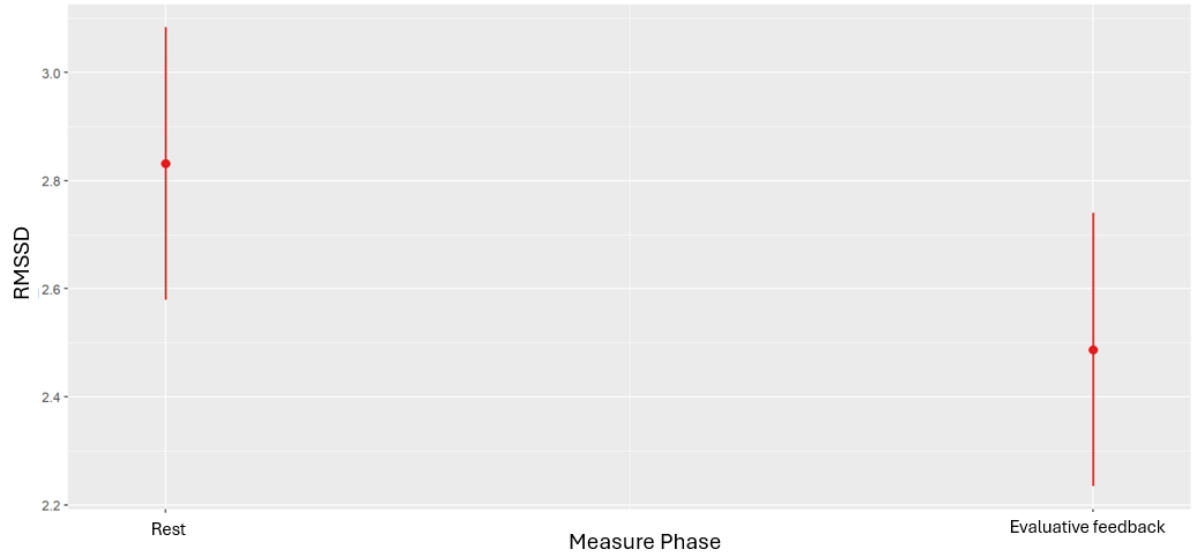


Figure 6. Predicted RMSSD levels between rest and evaluative feedback phase.

3.4.2. The choice to display error-related feedback.

A binomial model was computed to test if participants who watched the introduction video chose to display the feedback more than participants who did not. The model included feedback displayed (1: True, 0: False) as the dependent variable and Introduction, Implicit theory group as fixed effect and the participant as random effect. The model explained *Efron* $R^2 = .59$

The implicit theory group's effect was not significant ($\chi^2(1, 211) = .16$, *ns*).

H1.2. The effect of the introduction on the choice to display error-related feedback.

Neither the main effect of the introduction on the choice to display the feedback nor the interaction between the implicit theory group and the introduction were significant (respectively, $\chi^2(1, 211) = .01$, *ns*; and $\chi^2(1, 211) = .06$, *ns*).

3.4.3. The Attentional reaction to error-related feedback.

The AOI hits model included implicit theory group (Entity vs Incremental), introduction (No-Intro vs Intro), and the possibility to choose (No-Choice vs Choice) as fixed effects; the interaction between implicit theory group, introduction, and the possibility to choose; participants as a random effect; AOI surface as an offset variable; and the number of AOI hit as count dependent variable. The model explained a total of *Efron* $R^2 = .18$.

The AOI hit duration model included implicit theory group (Entity vs Incremental), introduction (No-Intro vs Intro), and the possibility to choose (No-Choice vs Choice), as fixed effects; the interaction between implicit theory group, introduction, and the possibility to

choose, and participants as a random effect. AOI hit duration was the dependent variable. This model explained a total of *Efron* R^2 = .01.

The implicit theory group had no significant effect on either the number of AOI hits (χ^2(1,211) = 2.24, *ns*) or the AOI hit durations (χ^2(1, 211) = .13, *ns*).

H1.3. The effect of the introduction on attention to error-related feedback.

The effect of the introduction on AOI hits was not significant (χ^2(1, 211) = .009, *ns*), neither was its effect on AOI hit durations (χ^2(1, 211) = .19, *ns*).

H2.1. The effect of the possibility to choose on attention to error-related feedback

The effect of the possibility to choose on the number of AOI hits on the KCR feedback was significant, (χ^2(1, 211) = 4.17, p = .04). More AOI hits were observed in the No Choice condition (estimated marginal means M = 3.90, SE = 0.12) compared to the Choice condition (estimated marginal means M = 3.50, SE = 0.14).

The effect of the possibility to choose was not significant on the AOI hit durations (χ^2(1, 211) = .40, *ns*).

H3. Interaction effects on attention to error-related feedback

Two-way interactions were not significant, but the three-way interaction between the implicit theory group, introduction, and the possibility to choose effect on AOI hits was significant (χ^2(1, 211) = 10.76, p < .01).

For Incremental theory participants:

- Those who did not receive an introduction on the functionality of errors but had the choice to view the feedback had fewer AOI hits on the KCR feedback compared to those who had neither the introduction nor the choice (*EST* = 0.94, z = 2.78, p = .03).
- The difference between those who had an introduction but no choice to view the feedback and those who had both the introduction and the choice was marginal (*EST* = -1.00, z = -2.40, p = .08).

For Entity theory participants:

- The difference between those in the introduction condition, who had no choice but to view the feedback, and those who had both the introduction and the choice to view the feedback was marginal (*EST* = 0.79, z = 2.53, p = .05).

For participants in no intro/choice condition:

- Those with an entity theory had more AOI hits than those with an incremental theory (*EST* = 0.99, z = 2.7, p = .03).

For participants in the control condition (no intro/no choice):

- No significant difference in AOI hits was observed between participants with an incremental theory and those with an entity theory.

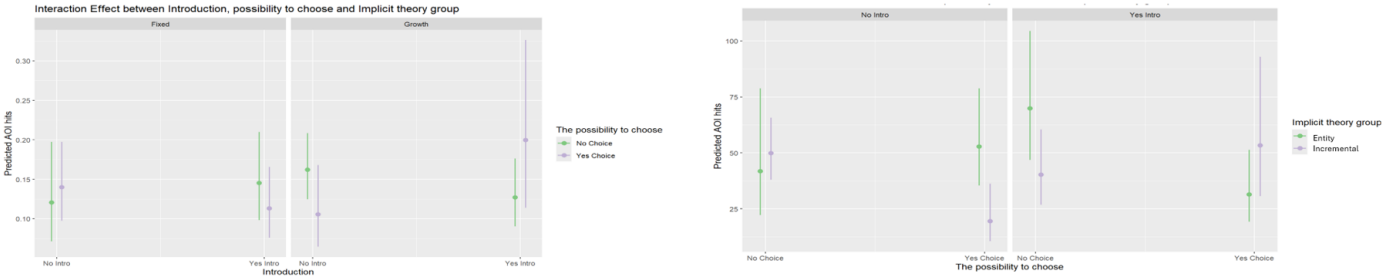


Figure 7. *Predicted AOI hits as a function of Introduction, the possibility to choose, and Implicit theory group.*

For AOI hit durations, only the three-way interaction between the implicit theory group, introduction, and the possibility to choose was significant, $\chi 2(1, 211) = 5.28$, $p = .02$ (see Figure 8). However, contrast analyses did not reveal any significant differences, likely due to the small proportion of variance explained by the AOI hit duration model.

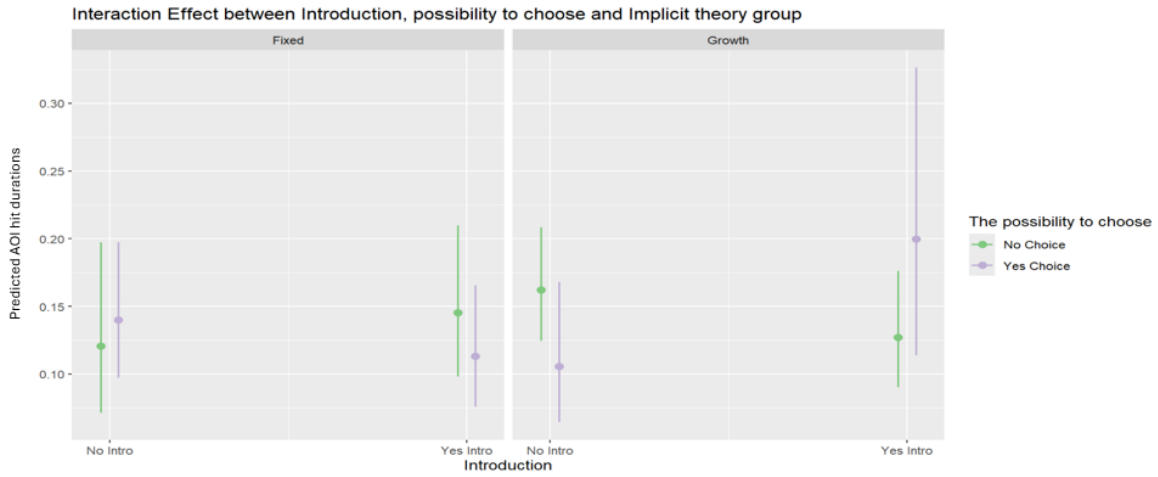


Figure 8. Predicted AOI hit duration as a function of Introduction, the possibility to choose, and Implicit theory group.

3.4.4. Learning from errors.

A binomial regression model was conducted to test the effect of the implicit theory group, introduction, and the possibility to choose on the learning from errors score. The first model included both main effects and interactions as fixed effects. The participant was introduced as a random effect. The final model's total explanatory power is *Efron* $R^2 = .02$

The implicit theory group did not significantly affect the learning from errors score $\chi 2(1, 597) = .83$, *ns.*

H1.4. The effect of the introduction on the learning from errors score

Results showed that the impact of the introduction was not significant $\chi 2(1, 597) = 2.29$, *ns*.

H2.2. The effect of the possibility of choosing on the learning from errors score

The effect of the possibility to choose was not significant $\chi 2(1, 597) = .80$, *ns*.

Additional results

The interaction between the possibility to choose, and the implicit theory group was marginal $\chi 2(1, 597) = 3.28$, p = .07, as well as the three-way interaction between the implicit theory group, the introduction and the possibility to choose $\chi 2(1, 597) = 2.76$, $p = .09$.

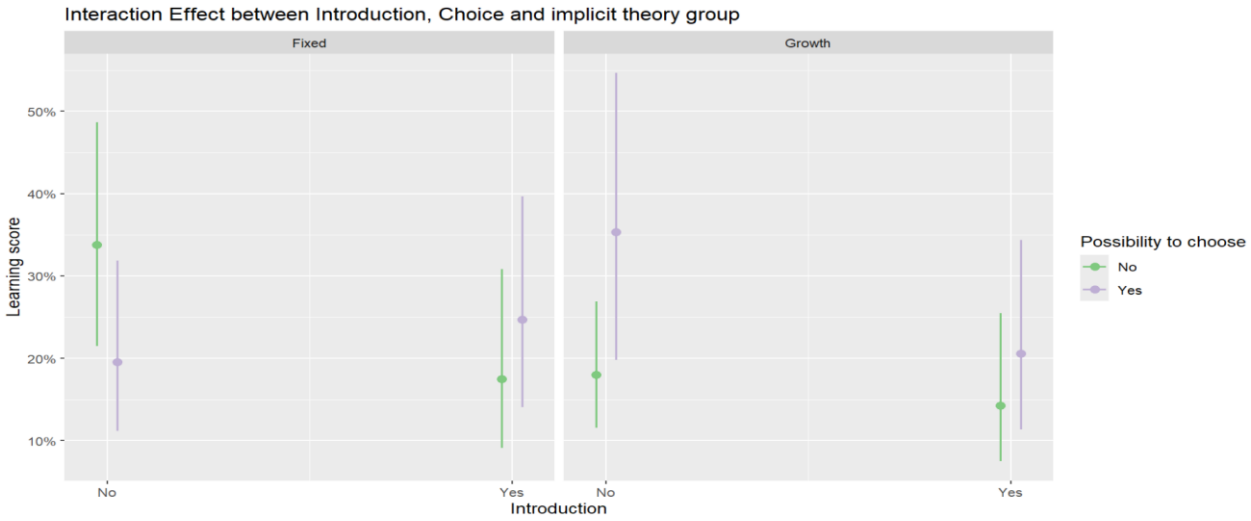


Figure 9. Predicted learning score as a function of implicit theory group, Introduction, and possibility to choose

Based on descriptives (figure 9), participants with an incremental theory learn best from their errors in the choice and no intro condition, and participants with an entity theory in the no choice and no intro condition.

3.5. Discussion of experiment 2

The second experiment aimed to test whether a small introduction to the functionality of errors and offering the possibility to choose to display corrective feedback would help students react more adaptively to errors, have less negative affective reaction to evaluative feedback, and pay more attention to corrective feedback, especially students with an entity theory.

3.5.1. Replication of experiment 1 findings

The findings of the second experiment diverged from those of the first. Contrary to the initial study's results and previous research, all students, irrespective of their assigned condition or implicit theory of intelligence, experienced a decrease in heart rate variability when evaluative feedback was displayed compared to the rest period. Whether students believed in the malleability of their intelligence or not, their heart rate variability decreased, implying that

the evaluative feedback was processed as a stressful event (Hilgarter et al., 2021). Additionally, the type of implicit theory of intelligence did not affect the attention paid to the corrective feedback (i.e., KCR feedback). Learning from error scores was also not influenced by students' implicit theory of intelligence. Contrary to the results of experiment 1, implicit theories seem to have no impact on how students react when they make an error in the context of the second experiment, despite higher error rates.

3.5.2. The effect of the introduction

The introduction designed to highlight the functionality of errors did not yield the hypothesized effects on students' affective reactions, feedback choices, attention, or learning. Because believing that errors are beneficial to learning predicts adaptive reactions when faced with errors (Tulis et al, 2018), it was hypothesized that being introduced to the functionality of errors would help reduce the negative error-related affective reaction. However, no difference was found between students who received the introduction and students who did not. It was also hypothesized that students introduced to the functionality of errors would be more likely to display informative feedback, but no significant effect was found. Furthermore, the introduction did not affect attentional measures, as neither the number of fixations on the corrective feedback nor the time spent looking at it differed between the groups. Similarly, the introduction did not have a significant impact on learning from error scores. These results suggest that the specific introduction implemented in this experiment was not effective in altering students' perceptions or responses to errors within this context.

3.5.2. The effect of the possibility of choosing

The possibility of choosing to display corrective feedback had a significant impact on attention; however, the observed effect was opposite to our hypotheses. Specifically, providing this choice resulted in a reduction in visual attention (fewer AOI hits) directed towards the feedback compared to the automatic presentation of the same information. Choosing to display corrective feedback did not have a significant impact on the time spent fixating the feedback nor on the learning from error scores.

It is important to note that participants took the initiative to view the corrective feedback in most trials (approximately 73%), and despite that, it appears that they allocate less visual attention to it compared to the automatic display condition. This could indicate that the mere act of having control over the display modifies the way they cognitively engage with the feedback. For example, they might adopt a faster consultation strategy or feel less compelled to carefully examine information they have requested.

3.5.3. Introduction, Possibility to choose, and implicit theory interaction effects

The number of fixations on the corrective feedback was influenced by a three-way interaction between the introduction to error functionality, the choice to display feedback, and students' implicit theory of intelligence. Specifically, among students who chose to display feedback, those with an entity theory exhibited more fixations on the corrective feedback than those with an incremental theory when they had not seen the introduction. This finding suggests that providing control over feedback display particularly encourages students with an entity theory to engage more visually with the corrective information.

Similarly, the duration of fixations on the corrective feedback was also affected by the three-way interaction between the introduction, the choice to display feedback, and implicit theory. Descriptive analyses indicated that students with an incremental theory who were introduced to error functionality and had the choice to display feedback showed the longest fixation durations on the corrective feedback, suggesting more elaborated processing.

5. General Discussion

5.1. Theoretical contributions

The present work focused on students' reactions toward errors, particularly their stress and attentional reaction to error-related feedback based on their implicit theory of intelligence. The first study aimed to understand how students react to error-related feedback using heart rate variability and eye movement. Two types of error-related feedback were studied: evaluative and informative feedback. To our knowledge, this is the first study to employ heart rate variability and eye movements to study these responses. Anterior studies used mostly event-related potentials (Mangels et al., 2006; Moser et al., 2011; Schroder et al., 2017). These studies have shown that individuals with an incremental theory of intelligence display more attentional allocation to error-related feedback than individuals with an entity theory of intelligence. Moreover, individuals with an incremental theory exhibit an enhanced memory for informative feedback compared to those with an entity theory following errors. (Mangels et al., 2006). The findings of the first study were aligned with these previous findings. As opposed to students with an incremental theory of intelligence, students with an entity theory were found to pay less attention to the error-related informative feedback (correct response). Informative feedback is meant to help students correct their responses but believing that intelligence is unchangeable, in other words, to endorse an entity theory of intelligence (Dweck & Leggett, 1988), drives students to be less interested in feedback that can improve their performances (Burnette et al., 2013; Dweck, 2006). In contrast, students with an

incremental theory of intelligence are more interested in informative feedback (Dweck, 2006) as they believe they can improve their performances. Another finding of the first study has, indeed, shown that students with an incremental theory of intelligence learned more from their errors (i.e., corrected their errors) than students with an entity theory of intelligence. The learning score was positively correlated with the number of AOI hits, which leads to the assumption that students who pay more attention to the error-related informative feedback, as do students with an incremental theory of intelligence, are more likely to learn from their errors. This finding corresponds to Chouvalova et al.'s (2024) results, which found that students with a more flexible view of their intelligence are more likely to react adaptively in the face of errors and to engage in strategies to learn from them. Reactions toward errors do not include only attentional reactions but also emotional reactions, such as the stress response explored in the first study. Based on Mangels et al. (2006) findings on the affective saliency of error-related feedback for students with an entity theory of intelligence, it was hypothesized that students with an entity theory of intelligence will display a stress reaction when faced with the evaluative error-related feedback contrary to students with an incremental theory of intelligence. The first study confirmed our hypothesis by showing that students with an entity theory had significantly lower heart rate variability when faced with negative evaluative feedback compared to a rest phase, which is an indication of a reaction to a stressful stimulus, the error-related feedback in this case. This difference was not observed for students with an incremental theory of intelligence, which beliefs are associated with more adaptive affective reactions toward errors (Chouvalova et al., 2024). Students with an entity theory of intelligence, on the other hand, are afraid of making errors (Burnette et al., 2023), which explains why being exposed to evaluative error-related feedback raises such negative affective reactions.

Implicit theories of intelligence, as demonstrated in the first study, influence students' reactions toward errors either in an adaptive or maladaptive way. In line with Dweck (2006), students with an incremental theory of intelligence seem to present more adaptive attentional and stress reactions when faced with error-related feedback than students with an entity theory of intelligence, who seem to react maladaptively to error-related feedback that hinders their learning. For that reason, a second study was conducted to try to counteract the tendency of students with an entity theory to react maladaptively when faced with errors. The study tested the effectiveness of a short introduction video on the functionality of errors visualized before the beginning of the learning task. Unfortunately, unlike what was hypothesized, the

introduction did not successfully modify students' reactions. The length of the introduction video was probably too short to induce observable changes as suggested by Moskell and Turner (2022) who observed changes in beliefs as reported by their participants but not actual behaviour after watching a brief video on ecology, especially since participants in both our second study and Moskell and Turner's (2022) study visualized the video only once. It would have been insightful if error beliefs had been measured in this second study to verify whether, while no changes in the attentional and stress reactions were observed, the introduction could have changed beliefs about the functionality of errors. Nevertheless, changing students' beliefs can be challenging because they can be deeply rooted (Gooding & Metz, 2011) and reinforced by students' personal experiences (Grootenboer, 2008). Students, even after watching the video, could not have internalized the message about the functionality of errors, especially if they held strong entity beliefs. Prior research suggests that modifying deeply ingrained implicit beliefs requires longer, multi-session interventions (Paunesku et al., 2015; Yeager et al., 2019). The brevity of the intervention may have limited its impact, preventing it from meaningfully altering students' physiological or attentional reactions.

The second study also tested whether students who chose to display the error-related informative feedback deliberately would pay more attention to it than students who received it automatically. Contrary to expectations, students who chose to display the feedback paid less attention to the given information than students who received it automatically, but surprisingly, students with an entity theory were found to pay more attention to the chosen informative error-related feedback than students with an incremental theory. Choosing to display the informative feedback may have given students with an entity theory a sense of control over their learning experience, something to which they are unaccustomed. Individuals with an entity theory usually attribute failure to uncontrollable factors (Dweck & Leggett, 1988), which can demotivate them in pursuing the task. Based on the self-determination theory (Deci & Ryan, 2000), individuals feel more motivated when they have control over the task or outcome. For students with an entity theory, having control over the learning environment could have helped maintain their motivation, translating to greater attention to the informative feedback. This finding is surprising as students with an entity theory are always believed to react worse than students with an incremental theory of intelligence following an error (Dweck, 2006) but Park and Kim's (2015) findings draws our attention to the importance of taking into consideration task perception when looking at how implicit theories of intelligence influence students' reactions to failures like errors. Their

study revealed that while individuals with an entity theory typically perform worse after failure on a task perceived to measure the same ability, this pattern reverses when a subsequent task is framed as measuring a *different* ability (e.g., motor skills, processing speed, or something unrelated to "intelligence" as initially presented). In such contexts, entity theorists tend to outperform incremental theorists. This highlights that the influence of implicit theories of intelligence on behavior is shaped by how individuals perceive the task. Therefore, the counterintuitive outcome of the second experiment emphasizes that the often-assumed negative reaction of entity theorists to errors is not absolute and can be modulated by factors such as enhancing their sense of agency within the learning process.

However, the results of the second study are to be interpreted with caution. The results of the first study were not replicated in the second study. As a reminder, the first experiment found that students with an entity theory had a stress reaction when faced with error-related feedback, paid more attention to informative feedback, and learned less than students with an incremental theory of intelligence, which was not observed in the second experiment. Contrary to the first experiment, the second experiment presents a more complex experimental context. It introduces two new variables: an introduction to the functionality of errors and the option to choose whether to display the corrective feedback. The main effect of the implicit theory of intelligence may have been overshadowed by the introduction of additional cognitive and motivational processes. In addition, the number of participants in the control condition (no introduction and no possibility to choose) may have been insufficient to achieve the expected significant effect of the implicit theory group.

Subsequent analyses, detailed in the appendix, indicated that the participant sample in Experiment 2 demonstrated significantly lower implicit theory scores, lower endorsement of an entity theory than the sample in Experiment 1. This disparity in the implicit theory of intelligence could be a plausible explanation for the failure to replicate the results observed in Experiment 1 within Experiment 2.

Moreover, it is important to take into consideration that students could have differed in their baseline levels of motivation, stress, and engagement between experiment 1 and experiment 2. It is possible that external factors (e.g., general stress, prior academic experience, motivation to participate in the experiment) influenced students' responses differently across experiments.

5.2. Limitations and future directions

Several limitations should be considered when interpreting the findings. First, the sample consisted mainly of undergraduate psychology students, potentially limiting the generalizability of the results to students in other academic disciplines or younger populations. Future research should explore these effects across diverse samples. Second, the study used a specific multimedia learning task, and the observed reactions to errors might not extend to other learning contexts, such as problem-solving activities or long-term academic achievement. Further investigation across various task types is needed. Third, the substantial loss of ECG data due to R-peak irregularities in both experiments raises concerns about the robustness of the RMSSD findings. Future research employing HRV measures seems necessary to further validate their reliability for studying students' affective responses to errors.

Specifically, regarding Experiment 2, the introduction may not have been strong enough to shift students' perspectives about errors that can be deeply ingrained. Future studies should explore the efficacy of more extensive interventions, such as longer videos directly addressing affective reactions and attentional reactions following errors. Furthermore, the lack of manipulation checks to assess the introduction's impact on students' error perceptions is a limitation of this study. The absence of effect for the introduction video could arise from the fact that students did not process or adequately consider the information it provided. Future research must incorporate measures to verify participants' understanding of the intended message. Given the introduction's unexpected results, subsequent studies could also investigate the necessity and potential benefits of repeated exposure or reinforcement to achieve stronger and more consistent effects.

5.3. Conclusion

This study provided new insights into students' affective and attentional responses to errors based on their implicit theories of intelligence. Experiment 1 confirmed previous findings that students with an incremental theory of intelligence engage more with corrective feedback and exhibit lower stress responses to errors. However, the second experiment did not replicate these findings, suggesting that the effect of the implicit theory of intelligence could be context-dependent and influenced by other external factors. The introduction about the functionality of errors included in experiment 2 was probably not sufficient to shift students' reactions when faced with errors, but offering the possibility to choose to display the corrective feedback yielded a surprising finding in favour of students with an entity theory. When choosing to display the corrective feedback, students with an entity theory paid more

attention to it than students with an incremental theory, a noteworthy finding as it suggests that providing choice can enhance this population's engagement with feedback. This result underscores that the effect of implicit theories of intelligence is more complex than a simple dichotomy of incremental being universally 'good' versus entity being universally 'bad. ' Future research should explore longer interventions, examine other individual differences in motivation, and investigate how task design influences students' engagement with error-related feedback. Understanding these factors can inform the design of educational interventions that help all students, regardless of their implicit theory, to learn effectively from errors.

References

Ahmida, M., Fenouillet, F., Léger, L. (in press). Échelle des théories implicites l'intelligence tournées vers soi (TIIS) : validation psychométrique en langue française auprès d'une population étudiante. *Psychologie Française*.

Ainley, M., Hidi, S., & Berndorff, D. (2002). Interest, learning, and the psychological processes that mediate their relationship. *Journal of Educational Psychology*, *94*(3), 545–561. https://doi.org/10.1037/0022-0663.94.3.545

Appelhans, B. M., & Luecken, L. J. (2006). Heart Rate Variability as an Index of Regulated Emotional Responding. *Review of General Psychology*, *10*(3), 229–240. https://doi.org/10.1037/1089-2680.10.3.229

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2014). *Fitting Linear Mixed-Effects Models using lme4* (arXiv:1406.5823). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.1406.5823

Blackwell, L. S., Trzesniewski, K. H., & Dweck, C. S. (2007). Implicit Theories of Intelligence Predict Achievement Across an Adolescent Transition: A Longitudinal Study and an Intervention. *Child Development*, *78*(1), 246–263. https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.00995.x

Brooks, M. E., Kristensen, K., van Benthem, K. J., Magnusson, A., Berg, C. W., Nielsen, A., Skaug, H. J., Machler, M., & Bolker, B. M. (2017). glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *The R Journal*, *9*(2), 378–400. https://doi.org/10.32614/RJ-2017-066

Burnette, J. L., Billingsley, J., Banks, G. C., Knouse, L. E., Hoyt, C. L., Pollack, J. M., & Simon, S. (2023). A systematic review and meta-analysis of growth mindset interventions: For

whom, how, and why might such interventions work? *Psychological Bulletin*, *149*(3–4), 174–205. https://doi.org/10.1037/bul0000368

Burnette, J. L., Knouse, L. E., Vavra, D. T., O'Boyle, E., & Brooks, M. A. (2020). Growth mindsets and psychological distress: A meta-analysis. *Clinical Psychology Review*, *77*, 101816. https://doi.org/10.1016/j.cpr.2020.101816

Burnette, J. L., O'Boyle, E. H., VanEpps, E. M., Pollack, J. M., & Finkel, E. J. (2013). Mind-sets matter: A meta-analytic review of implicit theories and self-regulation. *Psychological Bulletin*, *139*(3), 655–701. https://doi.org/10.1037/a0029531

Burnette, J. L., Pollack, J. M., & Finkel, E. J. (n.d.). *Mindsets Matter: A Meta-Analytic Review of Implicit Theories and Self-Regulation*.

Chaïnon, D. (2017). *L'effet de l'expertise sur l'expérience-utilisateur dans le cadre de l'utilisation des serious games* [Doctoral dissertation, Université Paris 8].

Chouvalova, A., Navlekar, A. S., Mills, D. J., Adams, M., Daye, S., De Anda, F., & Limeri, L. B. (2024). Undergraduates' reactions to errors mediates the association between growth mindset and study strategies. *International Journal of STEM Education*, *11*(1), 26. https://doi.org/10.1186/s40594-024-00485-4

Chun, M. M., Golomb, J. D., & Turk-Browne, N. B. (2011). A Taxonomy of External and Internal Attention. *Annual Review of Psychology*, *62*(Volume 62, 2011), 73–101. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.093008.100427

Cimpian, A. (2010). The impact of generic language about ability on children's achievement motivation. *Developmental Psychology*, *46*(5), 1333–1340. https://doi.org/10.1037/a0019665

Costa, A., & Faria, L. (2018). Implicit Theories of Intelligence and Academic Achievement: A Meta-Analytic Review. *Frontiers in Psychology*, *9*, 829. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00829

Cutumisu, M., & Schwartz, D. L. (2016). The effect of choosing versus receiving feedback on college students' performance. In *Proceedings of the International Association for the Development of the Information Society (IADIS)*. https://eric.ed.gov/?id=ED571418

Cutumisu, M., Turgeon, K.-L., Saiyera, T., Chuong, S., González Esparza, L. M., MacDonald, R., & Kokhan, V. (2019). Eye Tracking the Feedback Assigned to Undergraduate Students in a Digital Assessment Game. *Frontiers in Psychology*, *10*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01931

Da Fonseca, D., Cury, F., Fakra, E., Rufo, M., Poinso, F., Bounoua, L., & Huguet, P. (2008). Implicit theories of intelligence and IQ test performance in adolescents with Generalized Anxiety Disorder. *Behaviour Research and Therapy*, *46*(4), 529–536. https://doi.org/10.1016/j.brat.2008.01.006

Da Fonseca, D., Cury, F., Santos, A., Payen, V., Bounoua, L., Brisswalter, J., Rufo, M., Poinso, F., & Deruelle, C. (2009). When Depression Mediates the Relationship Between Entity Beliefs and Performance. *Child Psychiatry and Human Development*, *40*(2), 213–222. https://doi.org/10.1007/s10578-008-0122-9

De Castella, K., & Byrne, D. (2015). My intelligence may be more malleable than yours: The revised implicit theories of intelligence (self-theory) scale is a better predictor of achievement, motivation, and student disengagement. *European Journal of Psychology of Education*, *30*(3), 245–267. https://doi.org/10.1007/s10212-015-0244-y

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The "What" and "Why" of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behavior. *Psychological Inquiry*, *11*(4), 227–268. https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01

Dweck, C. S. (2006). *Mindset: The new psychology of success* (pp. x, 276). Random House.

Dweck, C. S. (2010). *Changer d'état d'esprit : Une nouvelle psychologie de la réussite*. Editions Mardaga.

Dweck, C. S., & Leggett, E. L. (1988). A Social-Cognitive Approach to Motivation and Personality. *MOTIVATION AND PERSONALITY*, 19.

Elliot, A. J., & McGregor, H. A. (2001). A 2 X 2 achievement goal framework. *Journal of Personality and Social Psychology*, *80*(3), 501–519. https://doi.org/10.1037/0022-3514.80.3.501

Eskreis-Winkler, L., & Fishbach, A. (2022). You Think Failure Is Hard? So Is Learning From It. *Perspectives on Psychological Science : A Journal of the Association for Psychological Science*, *17*, 17456916211059817. https://doi.org/10.1177/17456916211059817

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods, 39*(2), 175–191. https://doi.org/10.3758/BF03193146

Fazio, L. K., & Marsh, E. J. (2009). Surprising feedback improves later memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, *16*(1), 88–92. https://doi.org/10.3758/PBR.16.1.88

Goode, K., & Rey, K. (2022). *ggResidpanel* (Version 0.3.0.9000) [R package]. https://goodekat.github.io/ggResidpanel/

Gooding, J., & Metz, B. (2011). From misconceptions to conceptual change. *The Science Teacher*, *78*(4), 34.

Grassinger, R., & Dresel, M. (2017). Who learns from errors on a class test? Antecedents and profiles of adaptive reactions to errors in a failure situation. *Learning and Individual Differences*, *53*, 61–68. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.11.009

Gooding, J., & Metz, B. (2011). From misconceptions to conceptual change. *The Science Teacher*, *78*(4), 34.

Grootenboer, P. (2008). Mathematical belief change in prospective primary teachers. *Journal of Mathematics Teacher Education*, *11*, 479-497.

Harley, J. M., Pekrun, R., Taxer, J. L., & Gross, J. J. (2019). Emotion Regulation in Achievement Situations: An Integrated Model. *Educational Psychologist*, *54*(2), 106–126. https://doi.org/10.1080/00461520.2019.1587297

Hartig, F. (2022). *DHARMa: Residual diagnostics for hierarchical (multi-level/mixed) regression models* (Version 0.4.6) [R package]. https://CRAN.R-project.org/package=DHARMa

Hilgarter, K., Schmid-Zalaudek, K., Csanády-Leitner, R., Mörtl, M., Rössler, A., & Lackner, H. K. (2021). Phasic heart rate variability and the association with cognitive performance: A cross-sectional study in a healthy population setting. *PloS One*, *16*(3), e0246968. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246968

Huelser, B. J., & Metcalfe, J. (2012). Making related errors facilitates learning, but learners do not know it. *Memory & Cognition*, *40*(4), 514–527. https://doi.org/10.3758/s13421-011-0167-z

Kornell, N., Klein, P. J., & Rawson, K. A. (2015). Retrieval attempts enhance learning, but retrieval success (versus failure) does not matter. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *41*(1), 283–294. https://doi.org/10.1037/a0037850

Macnamara, B. N., & Burgoyne, A. P. (2023). Do growth mindset interventions impact students' academic achievement? A systematic review and meta-analysis with recommendations for best practices. *Psychological Bulletin*, *149*(3–4), 133–173. https://doi.org/10.1037/bul0000352

Makowski, D., Pham, T., Lau, Z. J., Brammer, J. C., Lespinasse, F., Pham, H., Schölzel, C., & Chen, S. A. (2021). NeuroKit2: A Python toolbox for neurophysiological signal processing. *Behavior Research Methods,* *53*(4), 1689–1696. https://doi.org/10.3758/s13428-020-01516-y

Mangels, J. A., Butterfield, B., Lamb, J., Good, C., & Dweck, C. S. (2006). Why do beliefs about intelligence influence learning success? A social cognitive neuroscience model. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *1*(2), 75–86. https://doi.org/10.1093/scan/nsl013

Mera, Y., Rodríguez, G., & Marin-Garcia, E. (2022). Unraveling the benefits of experiencing errors during learning: Definition, modulating factors, and explanatory theories. *Psychonomic Bulletin & Review*, *29*(3), 753–765. https://doi.org/10.3758/s13423-021-02022-8

Metcalfe, J. (2017). Learning from Errors. *Annual Review of Psychology*, *68*(1), 465–489. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010416-044022

Molden, D. C., & Dweck, C. S. (2006). Finding "Meaning" in Psychology: A Lay Theories Approach to Self-Regulation. *Social Perception, and Social Development., American Psychologist*, 192–203.

Moser, J. S., Schroder, H. S., Heeter, C., Moran, T. P., & Lee, Y.-H. (2011). Mind Your Errors: Evidence for a Neural Mechanism Linking Growth Mind-Set to Adaptive Posterror Adjustments. *Psychological Science*, *22*(12), 1484–1489. https://doi.org/10.1177/0956797611419520

Moskell, C., & Turner, R. W. (2022). Can a YouTube video lead to changes in environmental beliefs, attitudes, norms, and intended behavior? *Journal of Environmental Studies and Sciences*, *12*(1), 10–17. https://doi.org/10.1007/s13412-021-00719-9

Park, D., & Kim, S. (2015). Time to Move On? When Entity Theorists Perform Better Than Incremental Theorists. *Personality and Social Psychology Bulletin*. https://doi.org/10.1177/0146167215578028

Paunesku, D., Walton, G. M., Romero, C., Smith, E. N., Yeager, D. S., & Dweck, C. S. (2015). Mind-set interventions are a scalable treatment for academic underachievement. *Psychological Science*, *26*(6), 784–793. https://doi.org/10.1177/0956797615571017

Peirce, J. W. (2007). PsychoPy—psychophysics software in Python. *Journal of Neuroscience Methods, 162*(1–2), 8–13. https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2006.11.017

Peirce, J., Gray, J. R., Simpson, S., MacAskill, M., Höchenberger, R., Sogo, H., Kastman, E., & Lindeløv, J. K. (2019). PsychoPy2: Experiments in behavior made easy. *Behavior Research Methods, 51*(1), 195–203. https://doi.org/10.3758/s13428-018-01193-y

Potts, R., & Shanks, D. R. (2014). The benefit of generating errors during learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, *143*(2), 644–667. https://doi.org/10.1037/a0033194

Puusepp, I., Linnavalli, T., Huuskonen, M., Kukkonen, K., Huotilainen, M., Kujala, T., Laine, S., Kuusisto, E., & Tirri, K. (2021). Mindsets and Neural Mechanisms of Automatic Reactions to Negative Feedback in Mathematics in Elementary School Students. *Frontiers in Psychology*, *12*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.635972

Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, *124*(3), 372–422. https://doi.org/10.1037/0033-2909.124.3.372

Robins, R. W., & Pals, J. L. (2002). Implicit Self-Theories in the Academic Domain: Implications for Goal Orientation, Attributions, Affect, and Self-Esteem Change. *Self and Identity*, *1*(4), 313–336. https://doi.org/10.1080/15298860290106805

Rowe, A. D. (2017). Feelings About Feedback: The Role of Emotions in Assessment for Learning. In D. Carless, S. M. Bridges, C. K. Y. Chan, & R. Glofcheski (Eds.), *Scaling up Assessment for Learning in Higher Education* (pp. 159–172). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3045-1_11

Schiefele, U. (1991). Interest, learning, and motivation. *Educational Psychologist, 26*, 299–323. https://doi.org/10.1080/00461520.1991.9653136

Schroder, H. S., Fisher, M. E., Lin, Y., Lo, S. L., Danovitch, J. H., & Moser, J. S. (2017). Neural evidence for enhanced attention to mistakes among school-aged children with a growth mindset. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *24*, 42–50. https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.01.004

Smiley, P. A., Buttitta, K. V., Chung, S. Y., Dubon, V. X., & Chang, L. K. (2016). Mediation models of implicit theories and achievement goals predict planning and withdrawal after failure. *Motivation and Emotion*, *40*(6), 878–894. https://doi.org/10.1007/s11031-016-9575-5

Smithson, M., & Verkuilen, J. (2006). A Better Lemon Squeezer? Maximum-Likelihood Regression With Beta-Distributed Dependent Variables. *Psychological Methods*, *11*, 54–71. https://doi.org/10.1037/1082-989X.11.1.54

Tobii AB. (2011–2021). *Tobii Pro Lab* (Version 1.162) [Computer software]. Tobii AB. https://www.tobii.com/products/software/behavior-research-software/tobii-pro-lab/

Tulis, M., Steuer, G., & Dresel, M. (2016). Learning from errors: A model of individual processes. *Frontline Learning Research*, *4*(4), 12–26. https://doi.org/10.14786/flr.v4i2.168

Tulis, M., Steuer, G., & Dresel, M. (2018). Positive beliefs about errors as an important element of adaptive individual dealing with errors during academic learning. *Educational Psychology*, *38*(2), 139–158. https://doi.org/10.1080/01443410.2017.1384536

Vargas-Luna, M., Huerta-Franco, M. R., & Montes, J. B. (2013). Evaluation of the cardiac response to psychological stress by short-term ECG recordings: Heart rate variability and detrended fluctuation analysis. In *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering May 26-31, 2012, Beijing, China* (pp. 333-335). Springer Berlin Heidelberg.

Watson, M., Blair, M., & Ca, M. (2008). *Attentional allocation during feedback: Eyetracking adventures on the other side of the response*.

Yeager, D. S., Hanselman, P., Walton, G. M., Murray, J. S., Crosnoe, R., Muller, C., Tipton, E., Schneider, B., Hulleman, C. S., Hinojosa, C. P., Paunesku, D., Romero, C., Flint, K., Roberts, A., Trott, J., Iachan, R., Buontempo, J., Yang, S. M., Carvalho, C. M., … Dweck, C. S. (2019). A national experiment reveals where a growth mindset improves achievement. *Nature*, *573*(7774), 364–369. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1466-y

Zentall, S. R., & Junglen, A. G. (2017). Investigating Mindsets and Motivation through Eye Tracking and Other Physiological Measures. In *Eye-Tracking Technology Applications in Educational Research* (pp. 48–64). IGI Global. https://doi.org/10.4018/978-1-5225-1005-5.ch003

Zhang, Q., & Fiorella, L. (2023). An integrated model of learning from errors. *Educational Psychologist*, *58*(1), 18–34. https://doi.org/10.1080/00461520.2022.2149525

Zhao, S., Yu, C., Jin, L., & Lin, D. (2023). Helping students to face academic failures: Evaluation of a growth mindset intervention among primary school students in China. *Applied Psychology: Health and Well-Being*, *16*. https://doi.org/10.1111/aphw.12496

Appendices

A. Supplementary Analysis: Comparison of Mindset Scores Between Experiments

To further examine potential differences in the implicit theory of intelligence between the participants of Experiment 1 and Experiment 2, a Mann-Whitney U test was conducted on the implicit theory scores. The results of this non-parametric test are presented below:

Independent Samples T-Test

		Statistic	p	Mean difference
Implicit theory score	Mann-Whitney U	1244	0.039	3.00

The significant p-value (p = 0.04) indicates a statistically significant difference in scores between the two experiments, with higher mean implicit theory score scores for Experiment 1 compared to Experiment 2.

3. Synthèse

Dans le double but de comprendre et potentiellement de modifier les réactions face aux erreurs, cette étude a été menée à travers deux expériences distinctes. Ces deux expériences ont utilisé la variabilité de la fréquence cardiaque et les mouvements oculaires comme mesures directes des réactions physiologiques et attentionnelles. La première expérience investiguait les réactions des apprenants face à l'erreur en fonction de leur théorie implicite. La deuxième a évalué l'impact d'une introduction sur l'utilité des erreurs et de la possibilité de choisir l'affichage de la correction sur les réactions des apprenants en tenant compte de leur théorie implicite de l'intelligence.

Les résultats de la première expérience suggèrent que les apprenants avec une théorie de l'entité ont des réactions moins adaptées face aux erreurs contrairement aux apprenants avec une théorie incrémentielle. En effet, les apprenants avec une théorie de l'entité présentent une attention réduite pour le feedback, en particulier informatif, que les apprenants avec une théorie incrémentielle. De plus, ils manifestent une réaction de stress face aux erreurs contrairement aux apprenants avec une théorie incrémentielle. Cette réaction de stress aurait pu entraîner un désengagement de la tâche traduit par une réduction de l'attention cognitive. Une différence a aussi été observée dans l'apprentissage à partir des erreurs avec de meilleures performances chez les apprenants avec une théorie incrémentielle.

La deuxième expérience a produit des résultats qui n'ont pas permis de confirmer nos hypothèses initiales et a même révélé des observations surprenantes. L'introduction à la fonctionnalité des erreurs sur l'apprentissage n'a pas eu d'effet statistiquement significatif sur les réactions affectives, l'attention portée au feedback, ni sur l'apprentissage à partir de l'erreur. Concernant l'effet du choix d'afficher ou non le feedback informatif, paradoxalement, une plus grande attention visuelle (mesurée par le nombre de fixations) a été observée pour le feedback affiché sans choix. Ce résultat surprenant indique que même lorsque les apprenants ont choisi d'afficher le feedback, ils y ont accordé moins d'attention visuelle, suggérant que l'acte de faire ce choix a pu être perçu comme une forme d'engagement suffisante, réduisant la nécessité d'un examen approfondi du contenu. Les résultats ont aussi montré que les étudiants ayant une théorie de l'entité de l'intelligence et qui ont choisi d'afficher le feedback avec la bonne réponse, étaient plus attentifs à ce feedback comparé à des apprenants avec une théorie incrémentielle. Il s'agit en soi d'un résultat intéressant, qui indique qu'offrir plus de contrôle peut être une stratégie bénéfique pour

améliorer l'engagement des apprenants, en particulier ceux avec une théorie de l'entité, avec le feedback informatif. Néanmoins, Aucun effet significatif sur l'apprentissage à partir de l'erreur n'a été constaté. De manière inattendue, dans l'expérience 2, tous les apprenants ont manifesté une réaction de stress face aux erreurs, indépendamment de leur théorie implicite de l'intelligence. Ce résultat contraste avec ceux de la première expérience, qui avaient révélé que seules les personnes ayant une théorie de l'entité éprouvaient de telles réactions.

En résumé, la première expérience a réussi à mettre en évidence les réactions face à l'erreur des apprenants en fonction de leur théorie implicite de l'intelligence. Ces réactions étaient conformes à la littérature (Burnette et al., 2013, 2020; Dweck, 2006; Mangels et al., 2006; Moser et al., 2011; Schroder et al., 2017). Cependant, les résultats de la deuxième expérience soulèvent la question sur la consistance de ces résultats. La deuxième expérience révèle aussi que présenter une petite introduction sur la fonction des erreurs aux apprenants ne suffit pas à aider les apprenants avec une théorie de l'entité à mieux réagir aux erreurs et à apprendre de celle-ci. Cependant, leur donner plus de sentiment de contrôle pourrait être une piste pour de prochaines interventions.

Dans cette étude, nous avons donc cherché à modifier les réactions des apprenants face à l'erreur en agissant directement sur la situation d'apprentissage (ajout de l'introduction, choix d'afficher ou non le feedback), sans obtenir le succès escompté. Le chapitre suivant explorera un autre type d'intervention, visant à induire un état bienveillant chez les apprenants : nous y présenterons une intervention basée sur l'autocompassion.

Chapitre 6. Mesurer et transformer les réactions des apprenants – Points clés

- La 1ère étude a montré que les apprenants avec une théorie de l'entité ont des réactions affectives et attentionnelles moins adaptées face à l'erreur comparé aux apprenants avec une théorie incrémentielle. Ils apprennent aussi moins de leurs erreurs.
- Donner le choix aux apprenants avec une théorie de l'entité augmente leur engagement envers la tâche.
- Les résultats de l'expérience 2 n'ont pas répliqué les résultats de l'expérience 1.
- Introduire la fonctionnalité des erreurs n'a pas permis de modifier les réactions face à celles-ci.

Chapitre 7 : Modifier les réactions des apprenants face à l'erreur : une intervention basée sur l'autocompassion.

1. Préambule

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, les théories implicites de l'intelligence ont un impact sur les réactions face à l'erreur. Conformément à la littérature, les apprenants avec une théorie de l'entité avaient des réactions moins adaptées à un apprentissage à partir de l'erreur comparé aux apprenants avec une théorie incrémentielle. Présenter une petite introduction sur les fonctionnalités de l'erreur ainsi que donner plus de sentiment de contrôle en offrant le choix aux apprenants d'afficher le feedback informatif n'ont pas permis de modifier ces réactions à la hauteur de nos attentes.

Si on considère que les apprenants avec une théorie de l'entité se désengagent de la tâche en prêtant moins attention au feedback informatif pour gérer leurs réactions affectives, accepter d'avoir commis une erreur permettrait d'avoir des réactions plus adaptées face à celles-ci. En effet, l'acceptation permet de prévenir le comportement d'évitement. Celle-ci est favorisée par le développement de l'autocompassion (Kotsou & Schoendorff, 2011). L'autocompassion, ou bienveillance envers soi-même, consiste à se traiter avec chaleur et compréhension lors de moments difficiles, comme lorsqu'on commet une erreur (Kotsou & Schoendorff, 2011). Elle se compose de trois éléments (Neff, 2003) :

- Bienveillance envers soi-même : se montrer indulgent et compréhensif.
- Reconnaissance de son humanité : accepter que l'erreur fasse partie de l'expérience humaine.
- Observation sans jugement : analyser ses expériences avec distance et sans critique.

Contrairement au jugement sévère, la compassion envers autrui privilégie l'ouverture d'esprit (Neff et al., 2005). Appliquer cette attitude à soi-même permettrait de diminuer les émotions négatives liées à l'erreur, de préserver l'estime de soi et de promouvoir l'adoption de stratégies d'apprentissage efficaces.

Dans l'article ci-après, nous nous sommes demandé si l'autocompassion pourrait modifier les réactions face à l'erreur. Plus précisément, nous avons cherché à déterminer si une intervention spécifiquement conçue pour cultiver l'autocompassion pouvait influencer la manière dont les individus réagissent face à leurs propres erreurs dans un contexte d'apprentissage. Avant l'intervention, tous les participants ont réalisé une tâche d'apprentissage initiale. Cette tâche consistait en la lecture d'un texte, suivie d'une série de questions de compréhension visant à évaluer leur assimilation du contenu. Cette étape permettait d'établir une base de référence en termes de réactions face à l'erreur et d'apprentissage à partir de celle-ci. Ensuite, selon leur affectation aléatoire soit au groupe autocompassion ou au groupe contrôle, les participants réalisaient un exercice de rédaction. Dans le groupe "intervention", cet exercice visait à encourager une reconsidération des erreurs avec davantage de bienveillance envers soi-même, en s'appuyant sur les trois dimensions de l'autocompassion définies par Neff (2003). Conformément aux études présentées précédemment, la variabilité cardiaque et les mouvements oculaires ont été mesurés pour évaluer les réactions attentionnelles et affectives des participants face aux différents messages d'erreur. En complément de ces réactions, nous avons mesuré le niveau d'autocompassion des participants avant et après l'intervention, ainsi que leur jugement d'apprentissage (JoL). Ce jugement permet d'évaluer la perception des apprenants de la qualité et de la profondeur de leur compréhension du matériel étudié. Afin de déterminer l'efficacité de notre intervention basée sur l'autocompassion, nous avons comparé les réactions psychophysiologiques face à l'erreur, les niveaux d'autocompassion auto-rapportés, les jugements d'apprentissage et l'apprentissage à partir de l'erreur avant et après intervention pour le groupe "intervention" et le groupe "contrôle". De plus, reconnaissant l'effet des caractéristiques individuelles sur les réactions à l'erreur et l'adoption de stratégies d'apprentissage, nous avons également exploré le rôle modérateur potentiel des théories implicites de l'intelligence des participants sur les effets observés.

L'objectif principal de cette étude est donc d'évaluer si une intervention conçue pour promouvoir l'autocompassion peut effectivement modifier les réponses affectives (en réduisant le stress ressenti) et attentionnelles (en favorisant un engagement plutôt qu'un évitement) des apprenants lorsqu'ils sont confrontés à leurs erreurs. Notre hypothèse centrale est qu'une augmentation du niveau d'autocompassion chez les participants du groupe d'intervention se traduira par des réactions plus adaptées et constructives face à l'erreur, par un jugement d'apprentissage plus positive, et par une amélioration de l'apprentissage à partir de

l’erreur. Nous postulons que cette attitude de bienveillance envers soi-même pourrait agir comme un mécanisme protecteur, contrebalançant potentiellement les effets négatifs d'une forte adhésion à une théorie de l'entité de l'intelligence, qui tend à associer l'erreur à un manque de capacité intrinsèque.

2. Article

Fostering Self-Compassion in Learning: Can a Short Intervention Change Reactions to Errors Regardless of Implicit Theories of Intelligence?

Mariyem Ahmida[1] and Laure Léger[1]

[1] LINP2, Department of Psychology, Paris Nanterre University

Abstract

This study investigated whether a brief self-compassion intervention could positively modulate students' emotional and attentional reactions to errors, particularly for those with an entity theory of intelligence. Results indicated that the self-compassion intervention effectively increased students' self-compassion, regardless of their implicit theory of intelligence. The intervention improved vagal reactivity, indicating better emotional regulation to evaluative feedback post-intervention. Regarding attentional processes, students in the intervention group exhibited more frequent fixations on informative feedback, an effect particularly pronounced among students with an entity theory. However, no differences were observed in fixation durations, suggesting that while students oriented their attention toward feedback more frequently, their depth of engagement with it remained unchanged. Furthermore, while the intervention positively influenced students' subjective judgment of learning, it did not significantly impact their actual performance. These findings suggest that self-compassion interventions can enhance students' emotional resilience and attentional orientation toward feedback, particularly for those prone to negative reactions. However, translating these benefits into behavioral and performance improvements may require longer or more iterative interventions.

Keywords: Self-compassion, learning from errors, reactions toward errors, Implicit theories of intelligence, attention, heart rate variability, eye movements.

1. Introduction

Students encounter many setbacks during their academic journey, such as facing errors. When treated correctly, errors can benefit students' learning and skill improvement (Metcalfe, 2017). They can foster learning by highlighting areas for improvement and by engaging critical thinking (Harteis & Bauer, 2014). When followed with feedback, errors enhance memory for the correct answer (Kornell et al., 2009) allowing error correction (Metcalfe & Xu, 2018) which prevents future mistakes. Errors should be considered as opportunities to grow because they can lead to adaptive changes in behavior that predict improved future performances (Hester et al., 2009). However, even if errors are a promising step toward learning and improvement, they do not always generate the desired outcomes. Many studies have tried to understand the factors influencing students' reactions following errors and have paid special attention to those who foster learning from errors. One of these factors is how students perceive their intelligence. Students who believe their intelligence is malleable, and so endorse an incremental theory of intelligence, were associated with better reactions following errors, allowing learning from them (Chouvalova et al., 2024). On the contrary, students who believe that their intelligence cannot be developed, students with an entity theory of intelligence, react negatively when faced with errors (Molden & Dweck, 2006). Therefore, based on their implicit theory of intelligence, students can either benefit or not from the potential learning opportunity offered by errors. Another factor that influences how students perceive errors is to which degree students are compassionate toward themselves when faced with errors. Being self-compassionate was positively linked to the belief that failing is a learning opportunity (Miyagawa et al., 2020). Therefore, students with higher levels of self-compassion could be more willing to engage in behaviors that would promote learning from errors.

The current paper investigates the interplay between implicit theories and self-compassion in managing errors in a university setting. It will test whether promoting self-compassion enhances the positive effect of having an incremental theory of intelligence and remedies the negative impact of having an entity theory of intelligence when dealing with errors.

1.1. Implicit theories of intelligence

Implicit theories of intelligence are individuals' beliefs about the nature of their intelligence (Dweck, 2006). There are two types of implicit theories: incremental theories and entity theories. Students with an incremental theory of intelligence believe intelligence is a malleable quality that can be developed through effort. On the other hand, students with an

entity theory of intelligence believe that intelligence is a fixed quantity that cannot be changed. These beliefs about the nature of intelligence serve as a framework that helps students interpret the experiences they encounter and define their reactions in specific contexts (Dweck & Leggett, 1988). Based on their implicit theory of intelligence, students interpret differently the reason for their failure to answer correctly. Students with an incremental theory of intelligence, as they believe that competencies can be improved, will perceive errors as a result of a poor strategy, a lack of knowledge, or a lack of effort which can be rectified by changing the strategy or by putting more effort into the learning (Molden & Dweck, 2006). Having an incremental theory of intelligence is usually associated with the endorsement of mastery goals (Blackwell et al., 2007) that seek self-improvement and skill development. Therefore, when faced with errors, students with an incremental theory of intelligence react more adaptively and are more likely to benefit from their errors. It has indeed been proven that having an incremental theory of intelligence is associated with adaptive reactions to errors in terms of actions taken after making an error and in terms of students' emotions and motivations following errors (Chouvalova et al., 2024).

Students with an entity theory of intelligence, because they believe that their abilities are innate and cannot be changed, explain their errors with low ability or intelligence. They also have a negative perception of effort as putting effort to succeed confirms that the person's ability is insufficient (Miele et al., 2013). Therefore, students with an entity theory of intelligence, when faced with errors, will use less adaptive strategies (Blackwell et al., 2007) that could hinder learning from errors, hence the development of growth mindset interventions.

Growth mindset interventions seek to improve students' academic performance by changing their implicit theory of intelligence toward more incremental beliefs and fostering the belief that abilities can be developed through effort (Padır & Vangölü, 2023). When a growth mindset intervention succeeds in changing students' implicit theories, more positive failure beliefs are observed, and students have better coping strategies when faced with failure (Zhao et al., 2024). However, the effect of these interventions on how students perceive setbacks, such as errors in the academic settings and the following reactions, is not direct and depends on the effectiveness of growth mindset intervention in changing the underlying psychological processes (Burnette et al., 2023). The effectiveness of growth mindset interventions is still controversial as meta-analyses found small to non-significant effects on the desired outcomes such as academic achievement, motivation, and stress (Burnette et al., 2020, 2023;

Macnamara & Burgoyne, 2023; Sisk et al., 2018). Without a consensus on the benefits of implementing growth mindset interventions, finding new interventions that do not specifically focus on changing students' implicit theories could be worthwhile. An alternative approach would be to foster self-compassion, which has been shown to help individuals respond to setbacks with more resilience (Neff, 2023). Promoting self-compassion in the face of errors may offer a promising avenue for interventions to help students better cope with errors without directly addressing implicit theories of intelligence.

1.2. Self-compassion

When compassion is directed toward oneself, it is called self-compassion. It is a multifaceted concept that involves treating oneself kindly and with understanding in times of difficulty or failure (Neff, 2003). Neff (2003) introduced the concept of self-compassion as an alternative to a healthier attitude toward oneself that can help individuals thrive in all aspects of their lives (personal, academic, and professional). Three core elements define self-compassion (Neff, 2003): self-kindness instead of self-criticism, common humanity instead of feelings of isolation, and mindfulness instead of over-identification. Self-kindness emphasizes kindness and understanding toward oneself rather than being harsh and judgmental when facing pain and failure. It encourages a gentler approach to one's shortcomings. Common humanity involves recognizing that failure is a part of the larger human experience. It helps them to see that they are not the only ones who experience such difficulties. Mindfulness allows one to experience feelings in balanced awareness without overly identifying with them. These three elements of self-compassion help students better cope with failure as it was found that when faced with failure, self-compassionate students remained engaged in the task and confident in their competence (Neff et al., 2005). Being kind to oneself, acknowledging that it can happen to anybody, and not overidentifying with errors can foster more positive attitudes and reactions towards them. Self-compassion was associated with mastery goals (Neff et al., 2005) that were predictive of adaptive emotional and behavioral reactions when faced with errors (Tulis et al., 2016). Research has found that self-compassion was positively correlated with the belief that failures are learning opportunities (Miyagawa et al., 2020). Self-compassion was also linked to incremental beliefs about intelligence (J. W. Zhang et al., 2021).

Embracing failure in a kind and non-judgmental way seems to foster more positive beliefs and reactions toward failure and so toward errors. Many researchers have tested if inducing self-compassion can help cope with these setbacks. After asking their participants to think about a

negative event involving failure, humiliation, or rejection, Leary et al. (2007) found that inducing self-compassion resulted in lower negative affects suggesting that being kind to oneself can help reduce the negative affects experienced when faced with errors. Inducing self-compassion can also help improve performance after errors. Breines and Chen (2012) study revealed that participants in the self-compassion condition spent more time studying after failure, which resulted in better performances on the following test. These results suggest that self-compassion enables students to face errors without fear, thus encouraging them to focus on self-improvement. Inducing self-compassion also modifies how students perceive errors. Self-compassionate writing promoted treating oneself kindly which predicted adaptive beliefs about failure. Therefore, inducing self-compassion can help students with an entity theory of intelligence react more adaptively in the face of errors. When using self-compassion strategies, participants with an entity theory of intelligence were found to be better at coping with failure and more willing to put effort into avoiding failure in future trials (Kwan et al., 2022).

Self-compassion seems to be a promising alternative to growth mindset interventions that would foster positive reactions toward errors and lead to better performances. On that account, this study will test the effectiveness of a self-compassion intervention in helping students react to errors more adaptively, even those with an entity theory of intelligence.

1.3. The current study

The present study tests whether a self-compassion intervention can modify how students, in particular those with an entity theory of intelligence, react to errors. Previous studies have shown that how students react to errors depends on their implicit theory of intelligence (Molden & Dweck, 2006) and that an entity theory is related to the use of maladaptive strategies in the face of errors (Blackwell et al., 2007) and having negative beliefs about the functionality of errors (Chouvalova et al., 2024). An incremental theory, on the other hand, is associated with adaptive reactions following errors (Chouvalova et al., 2024). Those reactions involve affective-motivational reactions that reflect how much students maintain positive affects and motivation after errors and action-related reactions that involve cognitive processes and behaviors that can help overcome the encountered error (Grassinger & Dresel, 2017). Being self-compassionate was associated with incremental beliefs about intelligence (J. W. Zhang et al., 2021), and the induction of a self-compassionate state was helpful to students with an entity theory of intelligence (Kwan et al., 2022). In this study, a self-

compassion intervention, taking the form of a writing exercise, will be tested to look for changes in reactions toward errors, especially for students with an entity theory of intelligence. Unlike growth mindset interventions, self-compassion may provide a direct pathway to emotional regulation, allowing students—regardless of their implicit theory of intelligence—to respond to errors more adaptively.

Previous studies have shown that students with an incremental theory pay more attention to error-related feedback than students with an entity theory (Schroder et al., 2014) and that students with an entity theory experience more anxiety following error-related feedback than students with an incremental theory. Therefore, this study will focus on two principal reactions: the affective reaction induced by errors and the attention paid to the feedback following the error. Most research on self-compassion has relied on self-reports, leaving open questions about its effects on attention and physiological responses to errors. This study addresses these gaps by using eye-tracking and heart rate variability (HRV) measures to examine whether a self-compassion intervention alters students' responses to errors at an affective and attentional level. Heart rate variability, which measures time fluctuations between two heartbeats, is often used as an indicator of physiological response (Appelhans & Luecken, 2006) and eye movement is widely used to account for attention (Holmqvist et al., 2011; Rayner, 1998). When faced with negative stimuli, heart rate variability tends to decrease compared to a rest period (Hilgarter et al., 2021) and so participants' heart rate variability will be compared between a rest phase and the moment when a negative error-related feedback is displayed. Fixations, when eyes are maintained on a specific location, indicate what individuals are paying attention to. The number of fixations and their duration on the error-related feedback will be measured to account for how much attention is paid to that specific error-related feedback.

The study's main hypothesis is that the self-compassion intervention will improve how students with an entity theory react to errors. Specifically, it is expected that the intervention will lead to (a) reduced emotional reactions when confronted with errors, (b) greater attention to feedback after making errors, (c) improved performance on the final test post-intervention compared to pre-intervention, and (d) a more positive evaluation of their learning experience following the intervention compared to their pre-intervention judgments.

In line with J. W. Zhang et al. (2021), it was also hypothesized that stronger endorsement of entity beliefs would be linked to lower levels of self-compassion, particularly before any

intervention. The links between the dimensions of self-compassion and the implicit theory of intelligence will also be explored.

2. Method

2.1. Participants

An a priori power analysis using Gpower version 3.1.9.7 (Faul et al., 2007) was conducted to determine the minimum sample size required for a two-group repeated measures design. Most self-compassion interventions have shown medium effect sizes (Neff, 2023). To achieve 95% power for detecting a medium effect (Cohen's $d = 0.50$), at a significance level of $\alpha = .05$, the required minimum sample size is $N = 36$.

Sixty-nine participants responded to the online survey, but only 43 participants, who had a psychological vulnerability score under 24 and for whom French is their usual language, were selected to participate in the on-site part of the study. The final sample was 86% female with an average age of 19 ± 1.81 years ranging from 18 to 28. Participants had either normal (72%) or corrected vision. All participants were enrolled in the first-year bachelor psychology degree program at Paris Nanterre University and received a 2.5 credit score for their participation. The study was validated by the university's research and ethics committee (CER- 2023-12-06).

2.2. Measures

2.2.1. Psychological vulnerability

The psychological vulnerability scale (Nogueira et al., 2017) measured how fragile participants were in stressful conditions. The scale's 6 items were translated from English to French. Participants responded using a 5-point Likert scale (1 = does not describe me at all to 5 = describes me very well). The scale presented good internal consistency $\omega = .78$.

2.2.2. Self-compassion

Participants' self-compassion was measured using Kotsou and Leys's (2016) French version of the Self-Compassion Scale (SCS). The scale is composed of 26 items divided into 6 dimensions: Self-kindness (5 items), Self-judgment (5 items), Common humanity (4 items), Isolation (4 items), Mindfulness (4 items), and Over-identification (4 items). Participants responded to each item on a 5-point Likert scale ranging from *Almost never* (1) to *Almost always* (5). A score for each dimension was calculated by averaging the corresponding items. A global score, reflecting participants' level of self-compassion, was computed as the average

of all item scores, resulting in a possible range from 1 to 5. The overall scale had good internal consistency $\omega_{pre\text{-}intervention} = .88$ and $\omega_{post\text{-}intervention} = .91$.

2.2.3. Implicit theories of intelligence

The Implicit Theories of Self-Oriented Intelligence scale (Ahmida et al., in press) was used to measure students' implicit theories of intelligence. The 8 scale items reflect a first-person claim about the malleability or fixedness of one's intelligence. Four items represent incremental beliefs whereas the other four items represent entity beliefs. Students were asked to rate each item using a Likert scale ranging from *Totally disagree* (1) to *Totally agree* (6). The four incremental items were reversed, and a total score was obtained by summing all item scores, yielding a possible range from 8 to 48. The higher the score, the more students endorsed an entity implicit theory of intelligence compared to an incremental one. The scale showed good internal consistency $\omega = .96$

2.2.4. Judgment of learning (JoL)

A three-item scale was adapted from Nelson & Dunlosky (1991) to measure participants' judgment of their learning. The items were as follows: "*How do you evaluate your level of confidence in what you have understood from the text you just consulted?*", "*How do you evaluate your level of confidence in what you have retained from the information contained in the text you just consulted?*", and "*How do you evaluate your level of confidence in what you have retained from the main ideas contained in the text you just consulted?"*. Responses were given on a scale ranging from *Not at all* (0) to *Totally* (100). A single score was calculated by summing answers for each item.

2.2.5. Eye movement recording

Eye movement data was collected using a Tobii Pro nano eye tracker with a sampling rate of 60 Hz, an accuracy of .30°, and a precision of .10° at optimal conditions. The eye tracker was attached to the bottom of the screen using an adhesive mounting bracket provided with the eye tracker. The screen was positioned 60 cm away from the participant. The eye tracker was monitored by PsychoPy2 (Peirce et al., 2019) via Tobii Pro Lab (Version 1.162). Eye movement data was registered in Tobii Pro Lab which algorithm was used to compute fixations. Eye movements were used as a measure of students' attention.

2.2.6. ECG recording

Heartbeats were measured using a Wireless Echocardiogram Sensor, TEA CAPTIV T-Sens ECG with a sampling rate of 256 Hz. Electrodes were positioned directly on the thorax of each participant forming a diagonal from the right shoulder to the left hip. To control respiratory sinus arrhythmia, participants' respiration was measured indirectly using a Wireless Sensor Strap (sample rate 32Hz) that measures thoracic movements. ECG data allows us to compute participants' heart rate variability, an indicator of stress reactions.

2.3. Materials

2.3.1. Learning Task

The learning task involved participants reading a short text that debunked common neuromyths about learning, followed by 10 multiple-choice comprehension questions (each with three answer options presented simultaneously on screen). These questions were displayed sequentially. Immediately after each question, evaluative feedback ("Correct" or "Incorrect") was presented, followed by informative feedback revealing the correct answer. Participants were required to press the 'Next' button to go to the subsequent screen.

Two texts were prepared for this study. One text addressed the misconception that the brain can be strengthened like a muscle (often associated with the term 'Brain Gym'), while the other focused on the neuromyth of learning during sleep. The texts, formatted in Calibri, black, 18pt, 25 lines each, and approximately 15 words per line, were presented on a light grey screen, as well as the questions and feedback. Participants were allowed to complete the task at their own pace, as no time limit was imposed. However, a brief latency period occurred between the presentation of the texts, the feedback, and the subsequent appearance of the 'Next' button, respectively 30s and 3s.

2.3.2. Self-compassion exercice

The self-compassion exercise was a writing exercise adapted from Leary et al., (2007). The exercise is based on the three self-compassion dimensions: Mindfulness, Common humanity, and self-kindness. Participants responded in writing to three questions, each reflecting one of the three dimensions. Participants were instructed to take the time to reflect on each question and to feel free to write in their style.
See Appendix A.

2.3.3. Control exercice

In the control group, participants completed a writing exercise where they were asked to recall a typical day from the previous week. They were instructed to take a moment to remember the events of that day and then write a single paragraph describing what happened. See Appendix B.

2.4. Procedure

It was a two-stage experiment (Figure 1). The first stage was online, and the second was in the laboratory.

Online stage: Participants responded to an online survey on the university's LimeSurvey platform. The survey included the implicit theory of intelligence scale, the self-compassion scale, the psychological vulnerability scale, and sociodemographic questions such as gender, age, and French level. Participants with a vulnerability score lower than 24 and those whose usual language is French were allowed to participate in the following phase.

Laboratory stage: Each participant was received individually by the experimenter in the laboratory. After explaining the experiment procedure and receiving the participant's consent, the two electrodes were placed on the participant's thorax, and the quality of the signal was checked by the experimenter. The participant was asked to sit calmly on the chair, avoiding any movement for a 5-minute baseline measure of their heart rate. After ocular calibration (5 points), the participant started the learning task, which consisted of one of the texts on the myths of learning. To control for potential order effects or text-specific influences, the order in which participants encountered the two texts was counterbalanced across participants. The order of comprehension questions was randomized. ECG and eye movements were recorded while completing the task. Once the participant finished the learning task, the eye movement and ECG recording were paused, then the participant responded to the three items of the judgment of learning scale and answered once again to the 10 comprehension questions, sequentially and randomly presented, but with no feedback.

Then, the participant was randomly assigned to either the intervention or the control group. S/he was asked to either complete the self-compassion exercise (intervention group) or to write about their week (control group). The participant was given 15 minutes to complete the writing exercise. Then, s/he completed a second learning task while their ECG and eye movement were recorded. The second learning task was like the first task, except that the text and the corresponding comprehension questions changed. The participant answered the JOL items at the end of the learning task and then answered the comprehension questions with no

feedback on his or her performance. Finally, the participant responded to the self-compassion scale. At the end of the experiment, the experimenter explained the purpose of the study and gave the participants in the control group a copy of the self-compassion exercise.
The laboratory stage lasted approximately 1h.

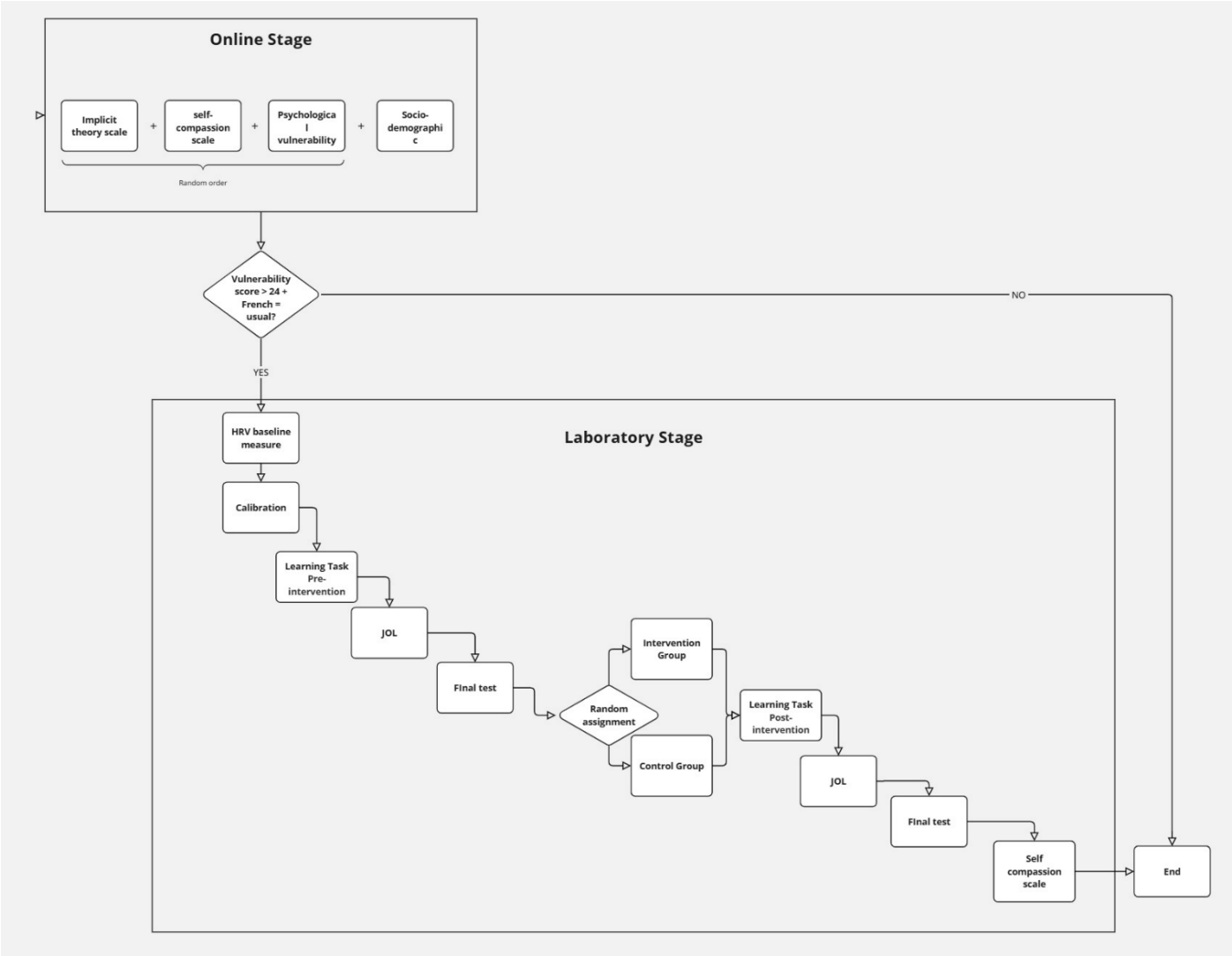


Figure 1. Experimental procedure diagram.

2.5. Experimental design

The study employed a 2x2 mixed factorial design, with one between-subjects variable (Group: Intervention Group vs. Control Group) and one within-subjects variable (Time: pre-intervention vs. post-intervention). Participants were randomly assigned to one of the two groups. The within-subject variable allowed us to measure changes in self-compassion, performance, and reactions to errors across two time points (before and after the intervention). This design allows us to account for the main effects of Group and Time and interactions between these factors.

2.6. Data analysis

For this analysis, only data from incorrect responses were included (45%). The number of correct and incorrect trials per experimental group and measure time are presented below (Table 1).

Table 1.

The number and ratios of correct (1) and incorrect (0) responses per experimental group and measure time.

Contingency Tables

MeasureTime	Experimental group		Result 0	Result 1	Total
Pre-intervention	Control	Observed	107	123	230
		% within row	46.5 %	53.5 %	100.0 %
	Intervention	Observed	96	104	200
		% within row	48.0 %	52.0 %	100.0 %
	Total	Observed	203	227	430
		% within row	47.2 %	52.8 %	100.0 %
Post-intervention	Control	Observed	100	130	230
		% within row	43.5 %	56.5 %	100.0 %
	Intervention	Observed	85	115	200
		% within row	42.5 %	57.5 %	100.0 %
	Total	Observed	185	245	430
		% within row	43.0 %	57.0 %	100.0 %
Total	Control	Observed	207	253	460
		% within row	45.0 %	55.0 %	100.0 %
	Intervention	Observed	181	219	400
		% within row	45.3 %	54.8 %	100.0 %
	Total	Observed	388	472	860
		% within row	45.1 %	54.9 %	100.0 %

ECG analysis examined responses to the evaluative feedback, whereas eye movement analysis specifically investigated responses to the corrective feedback.

2.6.1. ECG data

ECG data was processed using NeuroKit2 (Makowski et al., 2021). The root-mean-square of successive differences between heartbeats (RMSSD) was used as a heart rate variability parameter. Due to R-peak irregularities, likely caused by artifacts or ectopic beats, 13% of the data were judged unsuitable for reliable RMSSD analysis. An RMSSD value was computed for the rest phase per participant and each KR feedback. Because the RMSSD distribution was not normal, data was transformed using Yeo-Johnson transformation (Yeo & Johnson, 2000). First, a linear mixed model was computed using the lme4 package version 1.1-34

(Bates et al., 2014). When assessing the model using the ggResidpanel package version 0.3.0 (Goode & Rey, 2019), it showed that residuals were not normally distributed. The model was refitted using a robust method, robustlmm package version 3.3.1 (Koller, 2016), that accounts for the non-normality of residuals and handles variance and outliers. Because robustlmm does not compute the corresponding p-values, the bootstrapping method was used to infer significance. Confidence intervals that do not include zero imply that the effects are significant (Davison & Hinkley, 1997). The final model included the main effect of the implicit theory score, the experimental group (Self-compassion vs control), the measure time (pre-intervention vs post-intervention), and the HRV measure period (baseline vs feedback) as fixed effects. The model also included the *implicit theory score* × *experimental group* × *HRV measure period* interaction and *experimental group* × *measure Time* × *HRV measure period* interaction as fixed effects. The participant was included as a random effect.

2.6.2. Eye tracking data

An area of interest (AOI) was defined as the rectangle delimiting the corrective feedback (figure 2).

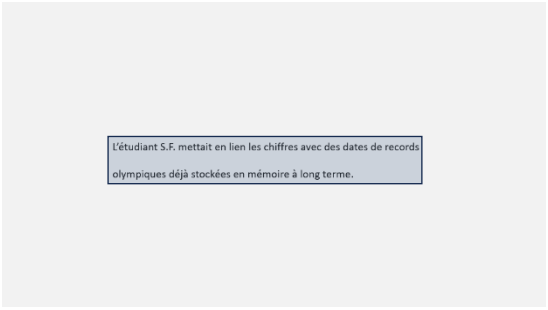


Figure 2. Example of corrective feedback and its corresponding AOI.

The number of AOI fixations (number of fixations in AOI) and durations (duration of fixations in AOI) were calculated directly in Tobii Pro Lab (version 1.162). The file was then processed using Python (version 3.10). To ensure data quality while maintaining a sufficient sample size, an 80% validity threshold was applied. This level balances data retention and reliability, preventing excessive participant exclusion while ensuring accurate gaze measurements. Therefore, 8 participants with data validity lower than 80% were removed from the analysis.

Bayesian analysis was chosen for AOI fixations due to the zero-inflated nature of fixation count data and the need to model overdispersion, which is common in eye-tracking studies

(Zitzmann & and Hecht, 2019). Traditional Poisson models may underestimate variance in such cases, whereas zero-inflated Bayesian models offer a better fit (Holmqvist et al., 2011). Therefore, to examine the effect of the intervention on the number of AOI fixations, we conducted a Bayesian multilevel regression analysis using the brms package (Version 2.22.0; Bürkner, 2017). A zero-inflated Poisson model was specified, including fixed effects for implicit theory score, intervention group, measure time, and their interactions. To account for within-subject dependencies, a random intercept was included for participants. Additionally, the AOI surface was incorporated as an offset variable to control for variations in AOI size. AOI fixation durations, the aggregate fixation duration in the area, were standardized by dividing them by their respective AOI surface areas to ensure comparability across AOIs. These values were then transformed using the Yeo-Johnson transformation (Yeo & Johnson, 2000) to reduce skewness and kurtosis, both of which fell within the acceptable range of 0 to 1. This transformation improved the suitability of the data for linear mixed modeling.
A linear mixed model (LMM) was first fitted using the lmer package, with implicit theory score, experimental group, and measure time as fixed effects, including their interactions. Participant was included as a random effect to account for within-subject variability. However, model diagnostics using ggResidpanel (Version 0.3.0; Goode & Rey, 2019) revealed a violation of the normality assumption for residuals. To address this issue, a robust model was estimated after removing non-significant effects. The final model retained the main effects of implicit theory score, experimental group, and measure time, as well as the interaction between experimental group and measure time. The standardized AOI fixation duration served as the dependent variable.

2.6.3. Self-compassion, Judgement of learning and learning scores

To evaluate the effect of the intervention on both the self-compassion and the judgment of learning score, linear mixed models were used with the implicit theory score, experimental group, measure time, and their interactions as fixed effects, the participants as a random effect, and either the JOL score or self-compassion score as the dependent variables.
The learning score was calculated by subtracting the comprehension quiz results from the final test resulting in a binomial (0 or 1) variable. A general mixed model, binomial, was first computed using participants as a random effect. The resulting model was singular, suggesting that the random effect structure was too complex for the model. After checking for the random effect variance that was near zero, the random effect was removed, and a Firth

logistic regression using the logistf package version 1.26.0 (Heinze et al., 2023) was computed. This model included the main effects and interactions between the implicit theory score, the experimental group, and the measure time. The learning score was the dependent variable.

3. Results

3.1. Group homogeneity.

To verify if the two groups were equivalent in terms of self-compassion and implicit theory before intervention, a robust independent sample t-test was calculated. The results are presented below.

Table 2

Group differences in implicit theory and the pre-intervention self-compassion score.

Variables	**Intervention**			**Control**			***t***	***p***
	n	*M*	*SD*	*n*	*M*	*SD*		
Implicit theory score	20	18.0	9.05	23	18.8	6.05	1.26	ns
Self-compassion[(a)]	20	2.89	.91	23	2.64	.34	4.04	<.001

[(a)] Before the intervention.

The intervention group had higher self-compassion scores than the control group. This difference will be accounted for in the relevant models.

3.2. Correlations

Table 2 presents correlations between the implicit theory and self-compassion scale scores before the intervention. It shows that the more participants endorsed an entity theory of intelligence, the less they were self-compassionate, kind towards themselves and mindful. In contrast, they were more self-judgemental and over-identified with setbacks.

Table 3

Means, standard deviations, and correlations with confidence intervals

Variable	*M*	*SD*	1	2	3	4	5	6	7
1. Mindset	18.42	7.81							
2. Self-compassion	2.76	0.51	-.26** [-.34, -.17]						
3. Self-kindness	2.89	0.74	-.41** [-.49, -.33]	.72** [.67, .76]					
4. Self-judgment	3.58	0.70	.18** [.09, .27]	-.80** [-.83, -.77]	-.71** [-.75, -.66]				
5. Common Humanity	3.24	0.77	.07 [-.02, .16]	.67** [.61, .72]	.43** [.35, .51]	-.39** [-.47, -.31]			
6. Isolation	3.35	0.75	.02	-.54**	.02	.16**	-.33**		

			[-.07, .12]	[-.61, -.47]	[-.07, .12]	[.07, .26]	[-.41, -.25]		
7. Mindfulness	3.18	0.67	-.38** [-.46, -.30]	.80** [.76, .83]	.58** [.51, .64]	-.55** [-.61, -.48]	.49** [.41, .56]	-.39** [-.46, -.30]	
8. Over-identification	3.80	0.76	.12* [.03, .21]	-.62** [-.67, -.56]	-.16** [-.25, -.07]	.42** [.34, .50]	-.14** [-.23, -.05]	.54** [.47, .60]	-.37** [-.45, -.28]

Note. M and *SD* are used to represent mean and standard deviation, respectively. Values in square brackets indicate the 95% confidence interval for each correlation. The confidence interval is a plausible range of population correlations that could have caused the sample correlation (Cumming, 2014). * indicates $p < .05$. ** indicate

3.2. The effect of the self-compassion intervention

3.2.1. On students' self-compassion

To test whether the intervention has an impact on students' self-compassion, a first model included the main effects and interactions between the implicit theory score, the experimental group, measure-time as fixed effects, and the participants as random effects. The self-compassion score was the dependent variable. To account for baseline differences in self-compassion, the pre-intervention self-compassion was included as a covariate in the model. The three-way interaction between the implicit theory score, the experimental group, and the measure time was not significant as well as the two-way interaction between the implicit theory score and the experimental group. A second model was fitted keeping only the interaction between the implicit theory score and the measure time and the interaction between the experimental group and the measure time.

Assessment of model fit revealed that the second model without the insignificant interactions provided a better fit to the data **Δ**AIC = 12.51. The final model's total explanatory power was $R^2_{conditional}$ =. 93 and the part related to the fixed effects $R^2_{marginal}$ = .87.

The effect of implicit theory was not significant ($F(38.15,1) = .34$, *ns*).

The main effect of the measure time ($F(815,1) = .07$, *ns*) was not significant, neither was the effect of the experimental group ($F(38.12,1) = .1.45$, *ns*).

The analysis revealed a significant effect of the interaction between the experimental group and the measure time (figure 3, $F(815.11,1) = 41.06$, $p<.001$, *eta2* = .05). Contrast analysis revealed that, for the intervention group, self-compassion scores were significantly higher after the intervention than the baseline measure before the intervention (*EST* = .07, $t(815) = 4.56$, $p < .001$). The self-compassion intervention positively impacted students' self-compassion regardless of their implicit theory of intelligence. In the control group, a slight reduction in self-compassion was observed compared to baseline (*EST* = -.06, $t(815) = -4.51$, $p < .001$).

This indicates that the self-compassion intervention led to an increase in self-compassion beyond individual differences at baseline.

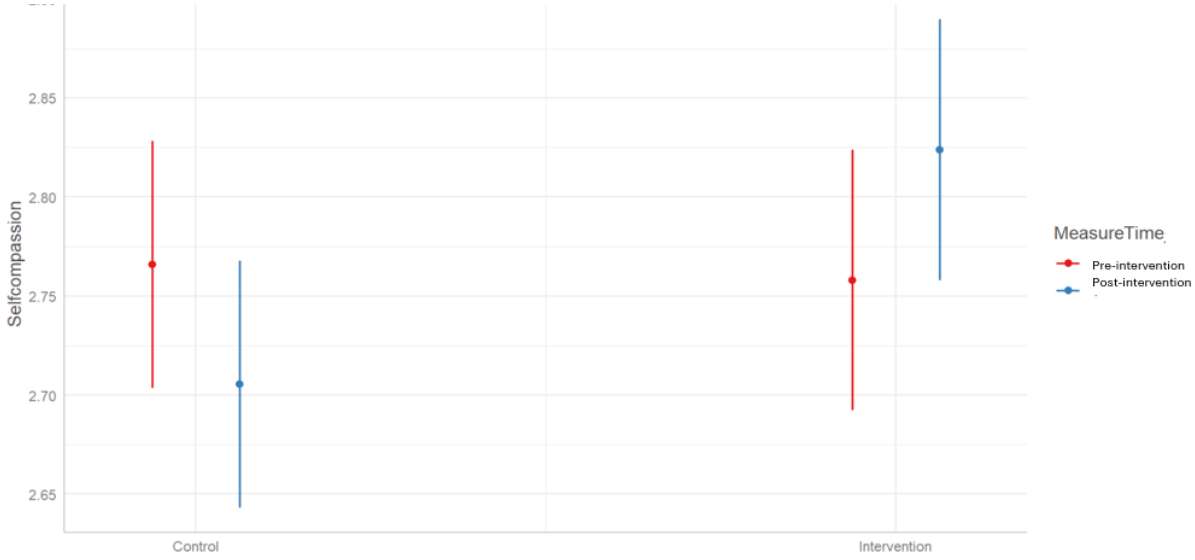


Figure 3. Predicted self-compassion scores for the intervention and the control group, pre- and post-intervention.

Additionally, a significant Measure Time × Implicit theory interaction ($F(815,1) = 8.69$, $p < .01$, *eta2* = .01) suggests that changes in self-compassion over time were influenced by implicit theories of intelligence.

3.2.2. On students' attention

Number of AOI fixations

To test the effect of the self-compassion intervention on the number of AOI fixations, the model included the main effects and interactions between implicit theory score, experimental group and measure time as fixed effects, and the participant as a random effect. Model convergence was assessed using the *Rhat* statistic, with values of 1.00 for all parameters, indicating satisfactory convergence of the Markov Chain Monte Carlo (MCMC) chains. Effective sample sizes (Bulk ESS and Tail ESS) were also examined and were sufficiently large (ranging from 2345 to 6417), suggesting stable and reliable parameter estimates. The model explained a total of *Bayes* R^2 = .54. Results are presented in Table 3; effects with 95% confidence intervals that do not include zero are considered as significant.

Table 4

Bayesian Zero-Inflated Poisson Model Results.

Parameter	*EST*	*SE*	*95% CIs*	*pd*	*Rhat*
Intercept	-8.28	.07	[-8.41, -8.14]	1.00	1.00
Implicit theory	-.12	.06	[-.24, -.01]	0.98	1.00
Experimental group	-.13	.10	[-.32, .05]	0.92	1.00
Measure time	-.01	.02	[-.13, -.06]	1.00	1.00
Implicit theory x Experimental group	.14	.11	[-.07, .35]	0.91	1.00
Implicit theory x Measure time	-.08	.02	[-.11, -.04]	1.00	1.00
Experimental group x Measure time	.11	.03	[.06, .17]	1.00	1.00
Implicit theory x Experimental group x Measure time	.13	.03	[.07, .20]	1.00	0.99

The effect of the implicit theory score was significant (*EST* =- .12, *95% CI* [-.24, -.01]), indicating that higher scores of Implicit theory scores were associated with lower AOI fixations. The effect of the measure time was significant (*EST* =- .01, *95% CI* [-.13, -.06]), indicating that AOI fixations were slightly lower after the intervention than before. The two-way interactions between the Implicit theory score and Measure time (*EST* =.13, *95% CI* [-.11, -.04]), and between the Experimental group and the Measure time (*EST* =.13, *95% CI* [.06, .17]) were significant (Figure 4 and 5, respectively). A slight increase in AOI fixations is observed during the second lesson for the intervention group, as opposed to the control group where a decrease in AOI fixations is observed. Independently from the experimental group, as individuals lean more towards an entity theory, the number of AOI fixations tends to increase, particularly during the second learning task. Conversely, for those with a more incremental theory, the number of AOI fixations appears relatively stable or slightly decreases over time.

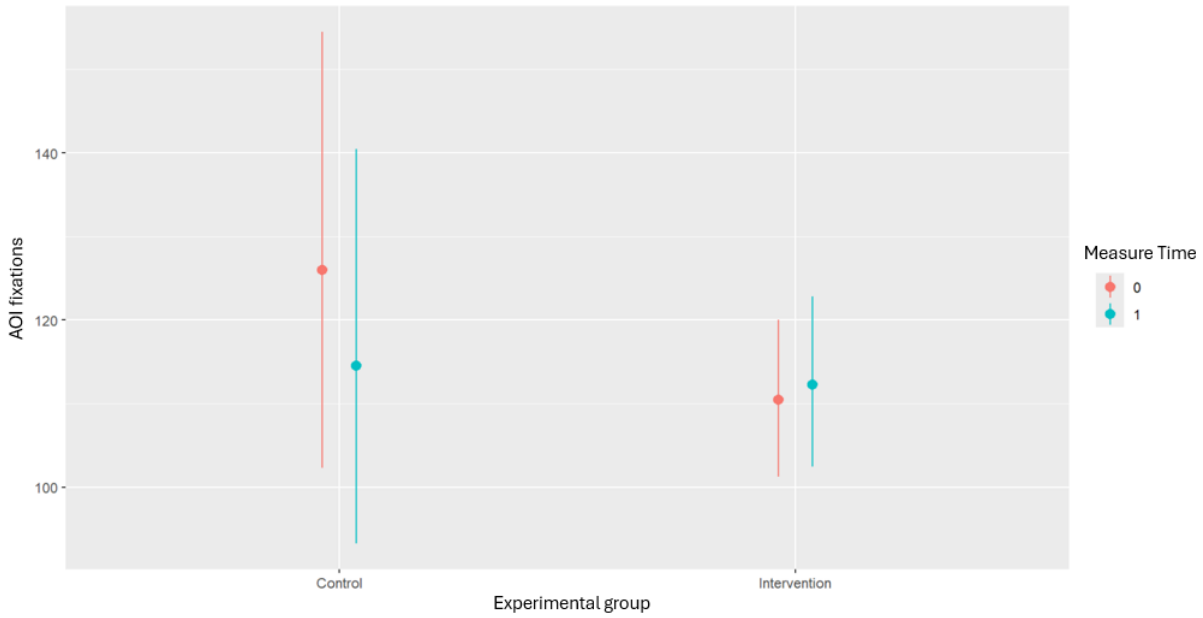


Figure 4. Predicted AOI fixations as a function of the Experimental group and Measure time (0: pre-intervention, 1: post-intervention)

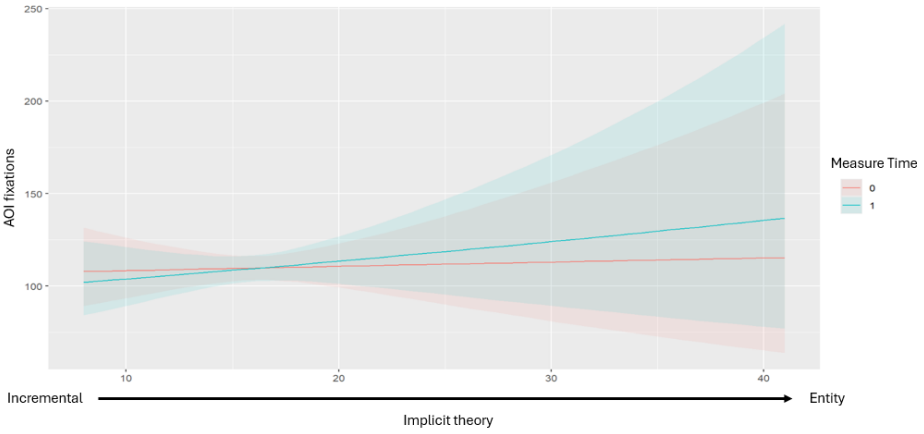


Figure 5. Predicted AOI fixations as a function of implicit theory score and Measure time (0: pre-intervention, 1: post-intervention)

The three-way interaction between the Implicit theory score, the Experimental group, and the Measure time was significant (*EST* =.13, *95% CI* [.07, .20]). Based on Figure 6, for the control group, the downward trend between AOI fixations and Implicit theory seems to be maintained pre- and post-intervention. On the contrary, the intervention appears to affect the relationship between the Implicit theory and AOI fixations. The trend changed to a positive relationship post-intervention, meaning that students who more strongly endorsed an entity theory exhibited a higher number of AOI fixations.

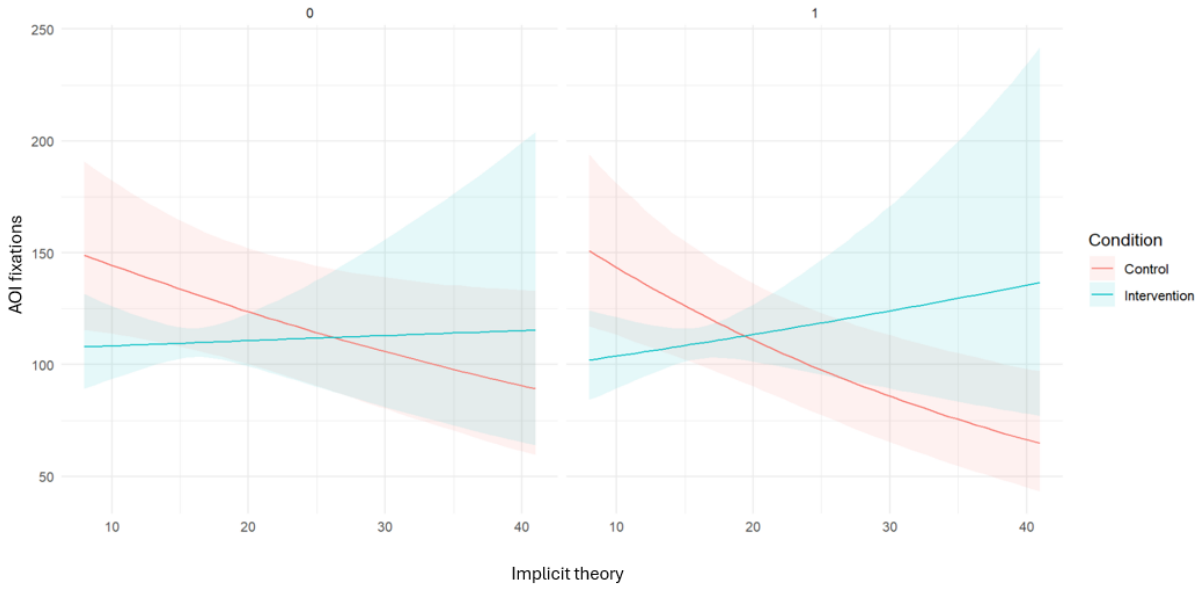


Figure 6. The effect of the three-way interaction on predicted AOI fixations.

AOI fixation durations

A model including the implicit theory score, the experimental group, the measure time, and the interaction between the experimental group and measure time was conducted to assess the effect of the intervention on AOI fixation duration. The model explained R^2 = .04. The estimates and their corresponding confidence intervals are presented in Table 5.

Table 5

AOI fixation durations Robust Model Results.

Parameter	*EST*	*SE*	*95% CIs*	*t*
Intercept	-.09	.12	[-.31, .12]	-.80
Implicit theory	-.15	.06	[-.26, -.05]	-.2.67
Experimental group	-.10	.17	[-.18, .44]	.59
Measure time	-.13	.17	[-.16, .45]	.76
Experimental group x Measure time	-.36	.23	[-.79, .04]	-1.56

The only significant effect was the effect of the implicit theory score on the AOI fixation durations (*EST* = -.15, *t* = -2.67, *95% CI* [-.26, -.04]), indicating that participants with a higher entity theory of intelligence spent less time fixating on the informative feedback.

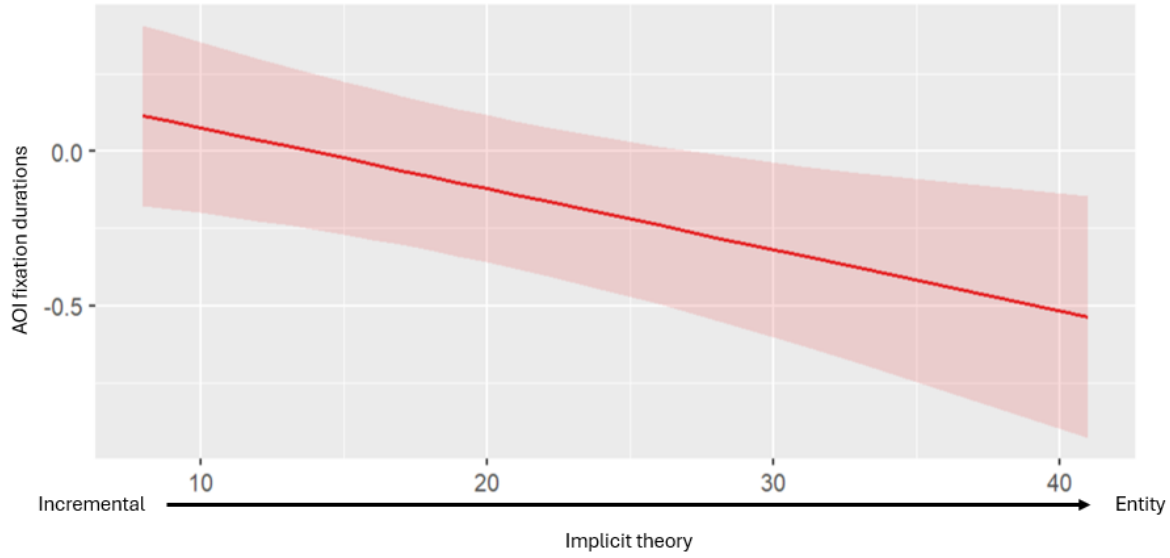


Figure 7. AOI durations as a function of implicit theories score

3.2.3. On students' affective reaction

A robust linear model was conducted to test the effect of the intervention on the RMSSD levels. The model included the main effects of the implicit theory score, the experimental group, the measure time, and the HRV measure period as well as interactions between the implicit theory score, the experimental group, and the HRV measure period, and interactions between the experimental group and the HRV measure period (Table xx). The model's total explanatory power was $R^2_{conditional}$ = .73, and the part related to the fixed effects $R^2_{marginal}$ = .11.

Table 6

RMSSD levels Robust Model Results.

Parameter	*EST*	*SE*	*95% CIs*	*pd*
Intercept	.33	.17	[.26, .41]	1.95
Implicit theory	.22	.13	[.16, .30]	1.66
Measure Period	-.51	.07	[-.70 -.33]	-6.89
Experimental Group	-.62	.25	[-.75, -.46]	-2.46
Measure Time	-.01	.07	[-.09, .06]	-.19
Implicit theory x Measure Period	-.31	.05	[-.43, -.18]	-6.05

Parameter	*EST*	*SE*	*95% CIs*	*pd*
Implicit theory x Experimental Group	-.31	.26	[-.42, .18]	-1.18
Measure period x Experimental Group	.74	.11	[.46, 1.13]	6.46
Measure Period x Measure Time	.10	.10	[-.13, .35]	.97
Experimental Group x Measure Time	.02	.11	[-.09, .18]	.24
Implicit theory x Experimental group x Measure Period	.44	.09	[.23, .66]	4.94
Measure Period x Experimental Group x Measure Time	-.53	.16	[-1.00, -.17]	-3.43

The bootstrapping method revealed that the effect of the implicit theory score, the HRV measure period, and the experimental group was significant. An estimate of -0.5 indicates that the overall RMSSD levels decreased between baseline and the evaluative feedback. The interaction between the implicit theory score and the HRV measure period was significant, suggesting that the difference between RMSSD levels between baseline and feedback varied depending on the implicit theory score (Figure 8). As implicit theory scores increase, the gap between the "rest" and "evaluative feedback" period seems to increase.



Figure 8. Predicted RMSSD levels as a function of implicit theory and Measure Period.

At lower implicit theory scores, the "rest" condition (red line) shows slightly higher RMSSD levels compared to the "evaluative feedback" period (blue line). However, the confidence

intervals overlap considerably, suggesting this difference might not be statistically significant at this lower end. At theory scores, the "rest" period exhibits higher estimated RMSSD levels compared to the "evaluative feedback" period. The confidence intervals appear to separate more at these higher implicit theory levels, suggesting a more reliable difference between the two Measure periods.

A significant HRV measure period× Experimental group interaction, indicating that the change in RMSSD from baseline to feedback differed between the self-compassion and control groups. The interaction between the implicit theory score, the HRV measure time, and the experimental group was significant, indicating that students' implicit theories of intelligence influenced the intervention's effect on RMSSD between baseline and feedback. A significant HRV measure period × experimental group × Measure Time interaction shows that changes in RMSSD levels between baseline and feedback depended on whether it was measured before or after the intervention (figure 9).

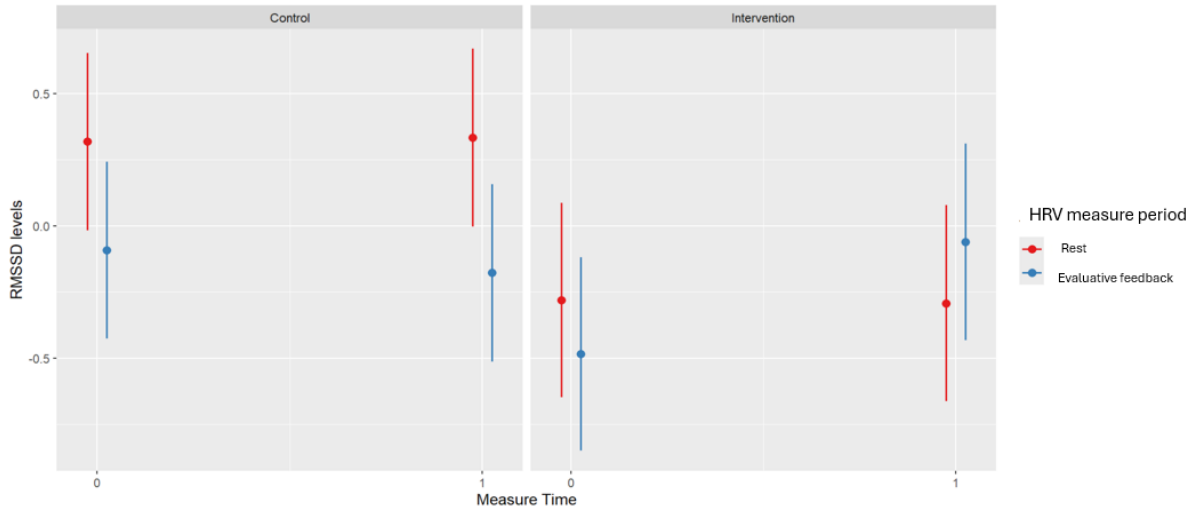


Figure 9. RMSSD levels between baseline period and feedback for intervention vs control group, and pre- and post-intervention measures (0: pre-intervention, 1: post-intervention).

Contrast analysis reveals that the difference in RMSSD levels between the rest and evaluative feedback periods is significantly negative post-intervention for the intervention group (*EST* = -.23, *z* = -0.64, *p* < .01). In contrast, this difference is positive in all other conditions: control pre-intervention (*EST* = .41, *z* = 5.68, *p* < .001), control post-intervention (*EST* = .51, z = 0.89, *p* < .001), and intervention pre-intervention (*EST* = .20, *z* = 2.61, *p* < .01). A negative difference (rest - feedback < 0) indicates that RMSSD levels were higher during the feedback period than at rest, suggesting a more relaxed physiological state or increased parasympathetic activity in response to feedback. Conversely, a positive difference reflects lower RMSSD during feedback, which may indicate greater physiological arousal or stress.

3.2.4. On students' judgment of learning

To test the impact of the self-compassion intervention on the judgment of learning, the model included the main effects and interactions between the implicit theory score, the experimental group, and the measure time as fixed effects and the participant as random effects. The judgment of learning score was included as the dependent variable. The model explained a total of variance $R^2_{conditional}$ = .63, the part of fixed effect was $R^2_{marginal}$ = .20

The effect of the implicit theory score was significant (F(1,38.10)=6.93, p=.01, $\eta_p 2$=.15). Individuals who strongly believe in an entity theory of intelligence have lower scores of JOL (EST=-30.64, p<.001). The effect of the measure time was also significant (F(1,814.06)=59.97, p<.001, $\eta_p 2$=.07). JOL scores were higher after the intervention than before. The main impact of the experimental group was not significant (F(1,38.07)=2.04, *ns*).

The interaction between the measure time and the experimental group was significant (F(1,814)=5.06, p=.02, $\eta_p 2$=.006). This suggests that the difference between JOL levels before and after varies by the experimental group, with JOL scores increasing more in the intervention group after the intervention. Contrasts revealed that in the intervention group, the JOL increased by 20.62 (t(814)=6.83, p<.001) units post-intervention compared to the control group, where the JOL increased only by 11.34 units (t(814)=4.03, p<.001).

The interaction between the implicit theory score and the measure time was also significant (F(1,814.06)=62.83, p<.001, $\eta_p 2$=.07) which indicates that the effect of mindset on JOL is different before versus after the intervention, with higher JOLs for individuals with higher entity beliefs before the intervention. The interaction between the implicit theory score and the experimental group was not significant (F(1,38.10)=.30, *ns*).

The three-way interaction between the implicit theory score, the experimental group, and the measure time was significant (F(1,814.06)=9.02, p=.002, $\eta_p 2$=.01). The experimental group's impact on JOL depends on both mindset and time of measurement (figure 10).

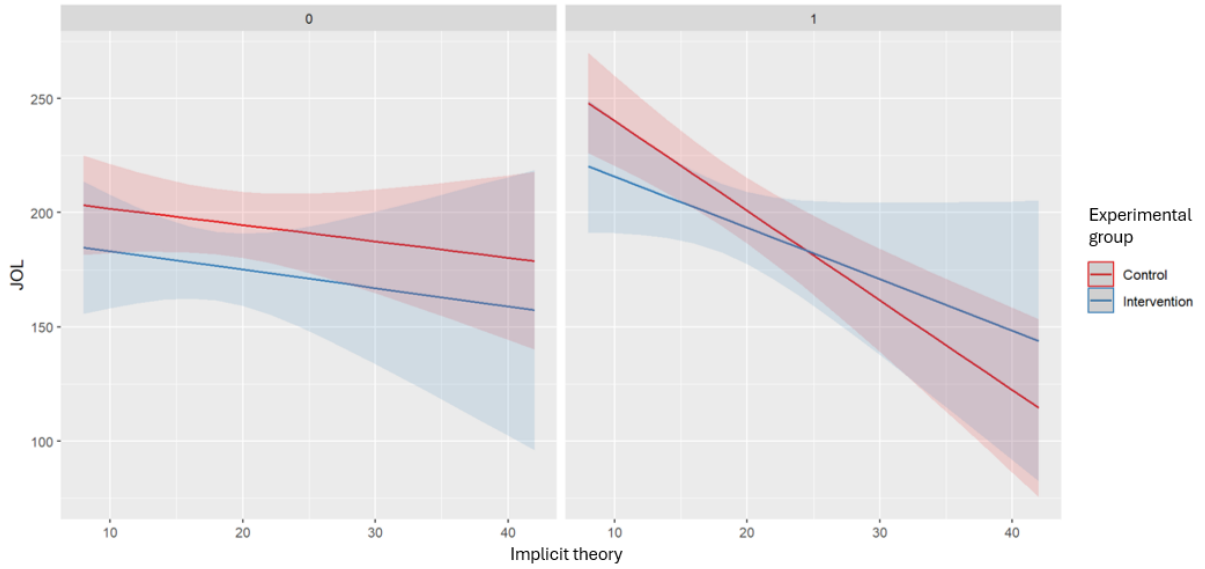


Figure 10. Interaction between Implicit theory of intelligence, experimental group, and Measure Time (0: pre-intervention, 1: post-intervention) for predicted JOL.

Based on the descriptives of Figure 10, post-intervention, the blue line corresponding to the intervention group seems to be less steep compared to the red line of the control group. This indicates that JOL still declines post-intervention in the intervention group but less sharply than in the control group.

3.2.5. Learning score

A penalized logistic regression was conducted to examine the effect of the implicit theory score, the experimental group and measure time on the learning from errors score. The results revealed a significant main effect of the measure time (B = 6.99, SE = 1.43, *95% CI* [4.96, 11.85]), indicating that participants were less likely to correct their errors post-intervention regardless of the experimental group. The effect of the experimental group was not significant (B = -0.027, SE = 0.41, *95% CI* [-0.84, 0.78]) neither was the interaction between the experimental group and the measure time (B = -0.055, SE = 2.03, *95% CI* [-5.32, 5.21]) indicating that the nature of the intervention did not impact the probability of learning from errors or influence the effect of measure time on the learning from errors score.
The effect of the implicit theory score was not significant (B = 0.205, SE = 0.19, *95% CI* [-0.17, 0.58]), indicating that the implicit theory of intelligence did not impact the likelihood of correcting errors.
Descriptive analysis (Table 7) shows a ceiling effect for the learning from error score.

Table 7

Mean and standard deviation of the learning from errors score.

	Intervention		Control	
Measure time	*M*	*SD*	*M*	*SD*
Pre-intervention	1.00	0.00	1.00	0.00
Post-intervention	.15	.36	.17	.37

4. Discussion

This study examined the impact of a short self-compassion intervention on students' reactions to errors. The intervention was a writing exercise where students responded to three questions. Each question referred to a dimension of self-compassion: self-kindness, common humanity, and mindfulness (Neff, 2003). Based on the implicit theory of intelligence framework (Molden & Dweck, 2006), students with an entity theory tend to have more negative reactions toward errors than students with an incremental theory. It was hypothesized that the self-compassion intervention would positively modulate the effect of implicit theories of intelligence on reactions to errors leading to more positive outcomes, particularly for students with an entity theory.

4.1. The relationship between self-compassion and implicit theories of intelligence.

Previous research has shown that higher self-compassion was associated with a more incremental view of intelligence (J. W. Zhang et al., 2021). In line with this finding, pre-intervention correlations revealed that a stronger endorsement of an entity theory of intelligence was associated with lower self-compassion. Specifically, students who viewed intelligence as inflexible exhibited less self-kindness and mindfulness while displaying greater self-judgment and over-identification. These associations suggest that students with a higher entity theory of intelligence will tend to self-criticism, they are more likely to be hard on themselves when faced with difficulties such as errors and would be less understanding of the situation. The correlations also suggest that these students are more likely to be excessively absorbed by the negative emotions and thoughts that can be triggered by errors which can make it difficult to act on them. Tao et al. (2022) have indeed found that individuals with an entity theory engage less in problem-focused coping when faced with failure. Instead, they are more prone to emotional-focused coping, such as disengagement, as indicated in Burnette et al. (2013) meta-analytic review. Given these associations between

self-compassion and implicit theories of intelligence, we next examine whether the intervention effectively modified students' reactions to errors.

4.2. The impact of the self-compassion intervention

As expected, the self-compassion intervention increased students' self-compassion post-intervention, an increase that was not observed in the control group. Therefore, reflecting on errors, based on the three dimensions of self-compassion, succeeded in increasing students' self-compassion. This increase was not affected by students' implicit theory of intelligence indicating that regardless of the implicit theory, this intervention had a positive impact on students' self-compassion.

Besides its effect on self-compassion, this intervention was intended to improve students' reactions toward errors in terms of affective and attentional reactions.

When comparing students' RMSSD levels between baseline and the error-related evaluative feedback period, results showed that implicit theories of intelligence influenced this difference. Specifically, the stronger students' endorsement of an entity theory, the greater the decrease in RMSSD from baseline to the feedback period. A reduction in RMSSD levels when faced with a stimulus is an indication of higher psychological stress and emotional reactivity (Hilgarter et al., 2021; Kim et al., 2018) which suggests that students with an entity theory perceived the negative evaluative feedback as more threatening than students with an incremental theory. This aligns with findings showing that individuals with an entity theory experience more negative affective reactions when faced with challenges (Lee et al., 2019). In contrast, students with higher incremental beliefs showed more stable RMSSD levels suggesting better emotional regulation faced with errors which aligns with research concluding that having an incremental theory of intelligence is linked to better affective reactions toward errors (Chouvalova et al., 2024). The self-compassion intervention was expected to positively influence students' emotional reactions to errors. Physiological data revealed an increase in RMSSD levels post-intervention compared to baseline when students received evaluative error-related feedback, regardless of their implicit theory of intelligence. Previous research has shown that vagal reactivity mediates the relationship between self-compassion and emotional regulation, with higher self-compassion linked to greater vagal reactivity in response to failure, facilitating better emotional recovery (N. Zhang et al., 2023). Accordingly, the observed increase in RMSSD in this study suggests a potential benefit of the intervention in enhancing emotional regulation when faced with errors.

The intervention was expected to have an impact on attentional behaviour following failure. Since number of fixations reflects attentional orientation—whether students direct their gaze toward informative feedback—whereas fixation duration may indicate deeper cognitive processing. Both metrics were analyzed. Results suggested that the number of fixations on the informative feedback changed between the pre-intervention and post-intervention measures depending on the experimental group. The self-compassion intervention positively influenced how often students looked at the informative feedback. This effect was moderated by students' implicit theory as higher gains in AOI fixations were observed for students with higher entity scores. However, the duration of these fixations did not differ between post and pre-intervention measures (no significant interactions observed). The fact that the self-compassion intervention did not affect fixation durations on the informative feedback suggests that while the intervention influenced how often students looked at the feedback, it did not influence how long they spent looking at it.

The intervention may have influenced students' scanning behavior and attentional orientation but not the depth of their engagement with the informative feedback. This pattern suggests that while the intervention increased students' willingness to engage with feedback, it did not necessarily enhance their depth of processing. However, it is important to note that this difference may be attributed to how AOI size was accounted for in the analyses: in the fixation count model, AOI size was included as an offset variable, whereas for fixation duration, it was normalized by dividing by AOI size. These different statistical approaches may have influenced the results and should be considered when interpreting the findings.

Additionally, analysis of AOI fixations and duration data replicated findings regarding the effect of the implicit theory of intelligence and attention to informative feedback (Mangels et al., 2006; Moser et al., 2011, 2011; Schroder et al., 2014) that indicated that individuals with more incremental views pay more attention to the informative feedback. This study revealed that the more students endorsed an entity theory of intelligence the less they paid attention to the informative feedback that was translated into fewer AOI fixations and shorter AOI fixation durations. Therefore, students with an entity theory of intelligence are less drawn by informative feedback and do not take the time to process the information offered by this type of feedback that could help them improve their performance. However, in this study, no effect was found on the performance following errors. No association was found between the implicit theory of intelligence and the learning from errors score and the intervention did not affect performance as well. While the effect of Self-compassion on emotional well-being and emotional regulation is well-established (Neff, 2023), maybe a translation to actual changes in

actual behavior and performance needs more time. Self-compassion is more strongly associated with positive cognitive restructuring than with problem-solving strategies (Allen & Leary, 2010). The question asked in the writing exercise encouraged students to rethink errors in terms of emotional response (more kindness), the understanding of their predicament (common to all students), and how they pay attention to them (more mindfully) but did not explicitly address actions. A longer or more iterative intervention may be needed to translate affective benefits into performance gains.

The most striking observation concerning the learning from errors score is the substantial drop in error correction post-intervention across both groups. Prior to the intervention (across both control and intervention groups), students demonstrated a high level of accuracy in correcting their initial errors, with a near-complete correction rate (100%). The lack of effect on the learning from errors score could be likely attributable to the ceiling effect observed in the first learning task. This suggests the texts and comprehension questions were likely too easy to effectively assess this measure. Consequently, the time spent on informative feedback did not differ significantly between measures or experimental groups, potentially because the straightforward nature of the questions facilitated memorization without requiring deeper information processing.

In the second learning task, the rate of error correction significantly decreased. As texts were counterbalanced, this effect cannot be explained. by Task Differences. This drop in learning from errors performance could be due to changes in levels of fatigue or motivation. The final test of the second learning occurred later in the experimental session, which could have led to increased fatigue and a reduced capacity or motivation to meticulously correct errors.

Nevertheless, the self-compassion intervention changed the way students judged their learning with more positive judgment post-intervention compared to the control group. Self-compassion fosters a non-judgemental awareness of one's abilities (Neff, 2023) which can positively influence learning perceptions. Moreover, this effect was influenced by the implicit theory of intelligence. Globally, judgment of learning is negatively influenced by the entity theory of intelligence with more negative judgment for students with high entity views. This relationship was slightly modified by the intervention. The reduction of JOL is visible in both the control group and the intervention group post-intervention but is less pronounced in the intervention group, which suggests that the self-compassion intervention buffers the decline of JOL for students with an entity theory. Individuals with an entity theory consider their performance a reflection of their innate capacities such as their intelligence (Dweck, 2006), which leads to self-judgement as revealed in this study. The self-compassion intervention

could have protected them against the harsh judgment of their learning that was then translated into a less severe decline in their evaluation.

While these results suggest promising effects of the intervention on affective and attentional processes, some limitations must be considered.

4.3. Limitations and Future Research

Despite that the self-compassion intervention influenced rather positively the Judgement of Learning and RMSSD levels, it did not show any performance improvements. Focusing only on self-compassion in the form of restructuring thoughts about errors might not have been enough to change learning outcomes. Furthermore, the ceiling effect observed in the first learning task accompanied with a significant drop in learning from error scores in the second learning task prevented the evaluation of the effectiveness of the self-compassion intervention on learning outcomes and deeper processing of the informative feedback. Future research should test the intervention using more complex and engaging learning tasks that generate more errors and maintain students' motivation.

In addition, the intervention moderated the decline of JOL for students with entity theory but did not prevent it suggesting that a one-session short intervention is not enough to change entirely students’ perceptions. Future research should test more long-lasting, repeated self-compassion interventions alongside complementary interventions to impact not only the affective reactions but also learning gains. While higher RMSSD indicates better stress responses when faced with errors, it does not capture the full range of affective responses. Additional measures, physiological or self-reported, could be integrated into future research to gain a better understanding of the nature of these reactions.

The measure of self-compassion and judgment of learning were self-reported measures that could have been influenced by social desirability and awareness of being in an intervention. Future research could incorporate implicit measures of self-compassion or objective behavioral indicators to strengthen the validity of findings. Furthermore, the experimenter could have unintentionally influenced the outcome of this study as s/he was aware of the experiment expectations and the experimental groups. A double-blind design, where both participants and experimenters are unaware of group allocation, could help control for these influences. It is also important to note that this study was conducted in a French university with undergraduate psychology students and that the results cannot be generalized to all contexts because of cultural differences and interpretations of self-compassion and errors.

4.4. Theoretical and Practical Implications

First, the study established the role that implicit theories of intelligence play in how students perceive and react to errors which reinforces the idea that implicit theories influence learning aligned with previous research on the subject. Second, the self-compassion intervention had a positive impact on affective reactions, attentional orientation, and learning perceptions, which indicates that self-compassion can help reduce the negative effect of an entity theory of intelligence, leading to more adaptive affective reactions. The increase in self-compassion after the intervention suggests that self-compassion could have worked as a mediator between implicit theories and affective reactions to errors. Self-compassion can be then considered as a factor in adaptive learning strategies and especially adaptive reactions, especially in challenging moments. Incorporating self-compassion training into academic interventions could help students better manage the emotional cost of learning from errors. For example, educators could integrate short self-compassion exercises into classroom settings before difficult assessments or as part of reflection activities after feedback. Over time, fostering self-compassion in students may contribute to greater resilience, reduced fear of failure, and enhanced motivation for lifelong learning.

5. Conclusion

This study examined the effectiveness of a brief, single-session self-compassion intervention. The intervention successfully increased students' self-compassion toward challenges such as errors. Adopting a more compassionate perspective on errors led to improved emotional responses, changes in attentional orientation toward informative feedback, and a more positive subjective judgment of the learning experience. However, the effect of the intervention was not entirely independent of students' implicit theories of intelligence, as its impact on attentional orientation and judgment of learning varied depending on their implicit theory. Despite these benefits, the intervention did not significantly influence students’ cognitive engagement to informative feedback following errors or their performance. While the intervention's immediate effects were primarily affective and attentional, its long-term impact on academic engagement and adaptive learning behaviors remains an important avenue for future research. Integrating self-compassion within broader educational interventions may further enhance students' ability to learn from errors and persist in challenging tasks.

References

Ahmida, M., Fenouillet, F., Léger, L. (in press). Échelle des théories implicites l'intelligence tournées vers soi (TIIS) : validation psychométrique en langue française auprès d'une population étudiante. *Psychologie Française*.

Allen, A. B., & Leary, M. R. (2010). Self-Compassion, Stress, and Coping. *Social and Personality Psychology Compass*, *4*(2), 107–118. https://doi.org/10.1111/j.1751-9004.2009.00246.x

Appelhans, B. M., & Luecken, L. J. (2006). Heart Rate Variability as an Index of Regulated Emotional Responding. *Review of General Psychology*, *10*(3), 229–240. https://doi.org/10.1037/1089-2680.10.3.229

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2014). Fitting linear mixed-effects models using lme4 (arXiv:1406.5823). *arXiv*. https://doi.org/10.48550/arXiv.1406.5823

Blackwell, L. S., Trzesniewski, K. H., & Dweck, C. S. (2007). Implicit Theories of Intelligence Predict Achievement Across an Adolescent Transition: A Longitudinal Study and an Intervention. *Child Development*, *78*(1), 246–263. https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.00995.x

Breines, J. G., & Chen, S. (2012). Self-Compassion Increases Self-Improvement Motivation. *Personality and Social Psychology Bulletin*, *38*(9), 1133–1143. https://doi.org/10.1177/0146167212445599

Bürkner, P.-C. (2017). Advanced Bayesian multilevel modeling with the R package brms (arXiv:1705.11123). *arXiv*. https://doi.org/10.48550/arXiv.1705.11123

Burnette, J. L., Billingsley, J., Banks, G. C., Knouse, L. E., Hoyt, C. L., Pollack, J. M., & Simon, S. (2023). A systematic review and meta-analysis of growth mindset interventions: For whom, how, and why might such interventions work? *Psychological Bulletin*, *149*(3–4), 174–205. https://doi.org/10.1037/bul0000368

Burnette, J. L., Knouse, L. E., Vavra, D. T., O'Boyle, E., & Brooks, M. A. (2020). Growth mindsets and psychological distress: A meta-analysis. *Clinical Psychology Review*, *77*, 101816. https://doi.org/10.1016/j.cpr.2020.101816

Burnette, J. L., O'Boyle, E. H., VanEpps, E. M., Pollack, J. M., & Finkel, E. J. (2013). Mind-sets matter: A meta-analytic review of implicit theories and self-regulation. *Psychological Bulletin*, *139*(3), 655–701. https://doi.org/10.1037/a0029531

Chouvalova, A., Navlekar, A. S., Mills, D. J., Adams, M., Daye, S., De Anda, F., & Limeri, L. B. (2024). Undergraduates' reactions to errors mediates the association between growth mindset and study strategies. *International Journal of STEM Education*, *11*(1), 26. https://doi.org/10.1186/s40594-024-00485-4

Davison, A., & Hinkley, D. (1997). Bootstrap Methods and Their Application. *Journal of the American Statistical Association*, *94*. https://doi.org/10.2307/1271471

Dweck, C. S. (2006). *Mindset: The new psychology of success* (pp. x, 276). Random House.

Dweck, C. S., & Leggett, E. L. (1988). A Social-Cognitive Approach to Motivation and Personality. *MOTIVATION AND PERSONALITY*, 19.

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods, 39*(2), 175–191. https://doi.org/10.3758/BF03193146

Goode, K., & Rey, K. (2022). *ggResidpanel* (Version 0.3.0.9000) [R package]. https://goodekat.github.io/ggResidpanel/

Grassinger, R., & Dresel, M. (2017). Who learns from errors on a class test? Antecedents and profiles of adaptive reactions to errors in a failure situation. *Learning and Individual Differences*, *53*, 61–68. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.11.009

Harteis, C., & Bauer, J. (2014). Learning from Errors at Work. In S. Billett, C. Harteis, & H. Gruber (Eds.), *International Handbook of Research in Professional and Practice-based Learning* (pp. 699–732). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8902-8_26

Hartig, F. (2022, March). *DHARMa: Residual diagnostics for hierarchical (multi-level/mixed) regression models* (R package version 0.4.6). https://CRAN.R-project.org/package=DHARMa

Heinze, G., Ploner, M., Dunkler, D., Southworth, H., & Heinze, M. G. (2023, August). *logistf: Firth's Bias-Reduced Logistic Regression* (R package version 1.25). https://CRAN.R-project.org/package=logistf

Hester, R., Madeley, J., Murphy, K., & Mattingley, J. B. (2009). Learning from Errors: Error-Related Neural Activity Predicts Improvements in Future Inhibitory Control Performance. *Journal of Neuroscience*, *29*(22), 7158–7165. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4337-08.2009

Hilgarter, K., Schmid-Zalaudek, K., Csanády-Leitner, R., Mörtl, M., Rössler, A., & Lackner, H. K. (2021). Phasic heart rate variability and the association with cognitive performance: A cross-sectional study in a healthy population setting. *PloS One*, *16*(3), e0246968. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246968

Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford University Press.

Kim, H.-G., Cheon, E.-J., Bai, D.-S., Lee, Y. H., & Koo, B.-H. (2018). Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investigation*, *15*(3), 235–245. https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17

Koller, M. (2016). robustlmm: An R Package for Robust Estimation of Linear Mixed-Effects Models. *Journal of Statistical Software*, *75*. https://doi.org/10.18637/jss.v075.i06

Kornell, N., Hays, M. J., & Bjork, R. A. (2009). Unsuccessful retrieval attempts enhance subsequent learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *35*(4), 989–998. https://doi.org/10.1037/a0015729

Kotsou, I., & Schoendorff, B. (2011). Chapitre 6. L'acceptation en psychothérapie: Une revue empirique et conceptuelle. In *Pleine conscience et acceptation* (pp. 179–205). De Boeck Supérieur. https://doi.org/10.3917/dbu.kotso.2011.01.0179

Kwan, L. Y.-Y., Hung, Y. S., & Lam, L. (2022). How Can We Reap Learning Benefits for Individuals With Growth and Fixed Mindsets?: Understanding Self-Reflection and Self-Compassion as the Psychological Pathways to Maximize Positive Learning Outcomes. *Frontiers in Education*, *7*. https://doi.org/10.3389/feduc.2022.800530

Leary, M. R., Tate, E. B., Adams, C. E., Batts Allen, A., & Hancock, J. (2007). Self-compassion and reactions to unpleasant self-relevant events: The implications of treating oneself kindly. *Journal of Personality and Social Psychology*, *92*(5), 887–904. https://doi.org/10.1037/0022-3514.92.5.887

Lee, H. Y., Jamieson, J. P., Miu, A. S., Josephs, R. A., & Yeager, D. S. (2019). An Entity Theory of Intelligence Predicts Higher Cortisol Levels When High School Grades Are Declining. *Child Development*, *90*(6), e849–e867. https://doi.org/10.1111/cdev.13116

Macnamara, B. N., & Burgoyne, A. P. (2023). Do growth mindset interventions impact students' academic achievement? A systematic review and meta-analysis with recommendations for best practices. *Psychological Bulletin*, *149*(3–4), 133–173. https://doi.org/10.1037/bul0000352

Mangels, J. A., Butterfield, B., Lamb, J., Good, C., & Dweck, C. S. (2006). Why do beliefs about intelligence influence learning success? A social cognitive neuroscience model. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *1*(2), 75–86. https://doi.org/10.1093/scan/nsl013

Metcalfe, J. (2017). Learning from Errors. *Annual Review of Psychology*, *68*(1), 465–489. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010416-044022

Metcalfe, J., & Xu, J. (2018). Learning from one's own errors and those of others. *Psychonomic Bulletin & Review*, *25*(1), 402–408. https://doi.org/10.3758/s13423-017-1287-7

Miele, D. B., Son, L. K., & Metcalfe, J. (2013). Children's Naive Theories of Intelligence Influence Their Metacognitive Judgments. *Child Development*, *84*(6), 1879–1886. https://doi.org/10.1111/cdev.12101

Miyagawa, Y., Niiya, Y., & Taniguchi, J. (2020). When Life Gives You Lemons, Make Lemonade: Self-Compassion Increases Adaptive Beliefs About Failure. *Journal of Happiness Studies*, *21*(6), 2051–2068. https://doi.org/10.1007/s10902-019-00172-0

Molden, D. C., & Dweck, C. S. (2006). Finding "Meaning" in Psychology: A Lay Theories Approach to Self-Regulation. *Social Perception, and Social Development., American Psychologist*, 192–203.

Moser, J. S., Schroder, H. S., Heeter, C., Moran, T. P., & Lee, Y.-H. (2011). Mind Your Errors: Evidence for a Neural Mechanism Linking Growth Mind-Set to Adaptive Posterror Adjustments. *Psychological Science*, *22*(12), 1484–1489. https://doi.org/10.1177/0956797611419520

Neff, K. D. (2003). Self-Compassion: An Alternative Conceptualization of a Healthy Attitude Toward Oneself. *Self and Identity*, *2*(2), 85–101. https://doi.org/10.1080/15298860309032

Neff, K. D. (2023). Self-Compassion: Theory, Method, Research, and Intervention. *Annual Review of Psychology*, *74*(Volume 74, 2023), 193–218. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-032420-031047

Neff, K. D., Hsieh, Y.-P., & Dejitterat, K. (2005). Self-compassion, Achievement Goals, and Coping with Academic Failure. *Self and Identity*, *4*(3), 263–287. https://doi.org/10.1080/13576500444000317

Padır, M. A., & Vangölü, M. S. (2023). Implicit Theory of Intelligence: Growth Mindset. *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*, *15*(3), Article 3. https://doi.org/10.18863/pgy.1163630

Peirce, J., Gray, J. R., Simpson, S., MacAskill, M., Höchenberger, R., Sogo, H., Kastman, E., & Lindeløv, J. K. (2019). PsychoPy2: Experiments in behavior made easy. Behavior Research Methods, 51(1), 195–203. https://doi.org/10.3758/s13428-018-01193-y

Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, *124*(3), 372–422. https://doi.org/10.1037/0033-2909.124.3.372

Schroder, H. S., Moran, T. P., Donnellan, M. B., & Moser, J. S. (2014). Mindset induction effects on cognitive control: A neurobehavioral investigation. *Biological Psychology*, *103*, 27–37. https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.08.004

Sisk, V. F., Burgoyne, A. P., Sun, J., Butler, J. L., & Macnamara, B. N. (2018). To What Extent and Under Which Circumstances Are Growth Mind-Sets Important to Academic Achievement? Two Meta-Analyses. *Psychological Science*, *29*(4), 549–571. https://doi.org/10.1177/0956797617739704

Tao, W., Zhao, D., Yue, H., Horton, I., Tian, X., Xu, Z., & Sun, H.-J. (2022). The Influence of Growth Mindset on the Mental Health and Life Events of College Students. *Frontiers in Psychology*, *13*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.821206

Tobii AB. (2019). *Tobii Pro Lab* (Version 1.162) [Computer software]. Tobii AB. https://www.tobii.com/products/software/behavior-research-software/tobii-pro-lab/

Tulis, M., Steuer, G., & Dresel, M. (2016). Learning from errors: A model of individual processes. *Frontline Learning Research*, *4*(4), 12–26. https://doi.org/10.14786/flr.v4i2.168

Yeo, I., & Johnson, R. A. (2000). A new family of power transformations to improve normality or symmetry. *Biometrika*, *87*(4), 954–959. https://doi.org/10.1093/biomet/87.4.954

Zhang, J. W., Kessler, E., & Braasch, J. L. G. (2021). Self-compassion mindsets can predict statistics course performance via intelligence mindsets and statistics anxiety. *Learning and Individual Differences*, *90*, 102047. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2021.102047

Zhang, N., Huang, J., & Yao, J. (2023). Athletes' self-compassion and emotional resilience to failure: The mediating role of vagal reactivity. *Frontiers in Psychology*, *14*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1192265

Zhao, S., Yu, C., Jin, L., & Lin, D. (2024). Helping students to face academic failures: Evaluation of a growth mindset intervention among primary school students in China. *Applied Psychology: Health and Well-Being*, *16*(2), 397–420. https://doi.org/10.1111/aphw.12496

Zitzmann, S., & and Hecht, M. (2019). Going Beyond Convergence in Bayesian Estimation: Why Precision Matters Too and How to Assess It. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, *26*(4), 646–661. https://doi.org/10.1080/10705511.2018.1545232

Appendices

Appendix A. The intervention's writing exercise

Think about the mistakes you made when answering the comprehension questions about the text you read.

1. Take the time to write a few words about how you felt when you received the message that you had made a mistake. When you write, try to be as non-judgmental as possible and accept your experience as it is.

2. Now take the time to think and write about how all students can find themselves in a similar situation to you and make mistakes when they learn new things.

3. Put yourself in your best friend's shoes. What would he or she say to you if you hadn't managed to answer correctly? Write down a few words of kindness and comfort for yourself.

Appendix B. The control writing exercise

Choose any day from last week.

Take the time to remember what happened on that day, then write a paragraph telling what happened.

3. Synthèse

L'article ci-dessus a présenté l'effet d'une intervention basée sur l'autocompassion sur les réactions face à l'erreur et l'apprentissage à partir de celle-ci. Nous nous attendions à ce que l'intervention améliore les réactions affectives des apprenants face au feedback évaluatif, facilite une allocation de l'attention et un traitement du feedback informatif, menant ainsi à un meilleur apprentissage à partir des erreurs. L'intervention consistait en un court exercice d'écriture centré sur les trois dimensions de l'autocompassion : la bienveillance envers soi-même, l'humanité partagée et la pleine conscience.

Conformément aux attentes, L'intervention a entraîné une augmentation du score d'autocompassion dans le groupe ayant réalisé l'exercice d'autocompassion. Cette augmentation n'a pas été observée dans le groupe contrôle. L'augmentation du RMSSD, indicateur de la variabilité de la fréquence cardiaque, au moment du feedback évaluatif suggèrent des bénéfices potentiels en termes de régulation du stress pour les apprenants qui ont profité de l'intervention sur l'autocompassion. En outre, le jugement d'apprentissage a été amélioré après l'intervention, mais cet effet a été modéré par les théories implicites de l'intelligence. L'impact positif de l'intervention d'autocompassion, par rapport au groupe de contrôle, sur le jugement d'apprentissage était plus marqué chez les apprenants avec une théorie de l'entité.

Sur le plan attentionnel, les étudiants du groupe intervention portaient plus fréquemment leur regard sur le feedback informatif, un effet particulièrement marqué chez ceux ayant une théorie de l'entité de l'intelligence. Cependant, la durée des fixations ne différait pas entre le groupe intervention et le groupe contrôle, suggérant que l'intervention a pu favoriser l'orientation attentionnelle vers le feedback informatif sans modifier la profondeur de son traitement. Bien que l'intervention ait amélioré l'évaluation subjective de l'apprentissage des apprenants ainsi que l'orientation de leur attention, aucun effet sur l'apprentissage à partir de l'erreur n'a été observé. Cette limitation est due à des observations surprenantes entre les phases pré- et post-intervention, caractérisées par un effet plafond suivi d'une diminution substantielle des performances.

Ces résultats montrent que, dans une certaine mesure, l'intervention sur l'autocompassion a été efficace puisqu'elle a pu renforcer la résilience émotionnelle, favoriser un jugement positif des apprentissages et promouvoir une meilleure orientation attentionnelle vers le feedback informatif, en particulier chez les étudiants enclins à des réactions négatives aux erreurs. Toutefois, des interventions plus conséquentes ou répétées seraient probablement

nécessaires pour observer un impact significatif sur la profondeur du traitement du feedback informatif et sur l'apprentissage à partir de l'erreur. Intégrer des formations à l'autocompassion dans les cursus éducatifs pourrait être bénéfique pour aider les apprenants à mieux accepter leurs erreurs et à développer des comportements d'apprentissage plus constructifs à long terme.

La présente étude a permis d'établir la possibilité de moduler les réactions affectives consécutives au feedback d'erreur chez les apprenants manifestant une théorie implicite de l'intelligence de l'entité en plus de l'attention portée au feedback informatif, un résultat qui contraste avec l'étude précédente. Ces observations suggèrent qu'une intervention visant à induire l'autocompassion chez les apprenants pourrait s'avérer plus pertinente que la simple mise en évidence du rôle des erreurs dans le processus d'apprentissage via une vidéo.

Chapitre 7. Intervention basée sur l'autocompassion– Points clés

- Les théories implicites de l'intelligence sont associées aux niveaux d'autocompassions des apprenants avec de plus hauts niveaux chez ceux ayant une théorie incrémentielle.
- La théorie de l'entité est associée à plus de réactions mal adaptées face à l'erreur.
- L'intervention basée sur l'autocompassion a réussi à modifier positivement les réactions affectives face au feedback évaluatif, l'orientation attentionnelle au feedback informatif et le jugement d'apprentissage.

Partie 3. Discussion et Conclusion

Introduction

Les erreurs constituent une partie inévitable du processus d'apprentissage. Leur impact dépend de la manière dont les apprenants les interprètent et y réagissent. Envisagées de manière constructive, les erreurs offrent des opportunités d'apprentissage enrichissantes, qui améliorent la rétention de l'information, renforcent le traitement cognitif et favorisent l'adaptation et la résolution de problème (Metcalfe, 2017 ; Kornell et al., 2009). Cette thèse s'est précisément intéressée aux réactions des apprenants face aux erreurs et aux stratégies d'accompagnement pour transformer ces dernières en leviers d'apprentissage. Nos travaux se sont principalement appuyés sur les théories implicites de l'intelligence (Dweck, 2006 ; Dweck et al., 1995 ; Dweck & Leggett, 1988 ; Molden & Dweck, 2006) qui ont constitué notre cadre théorique pour l'étude des réactions à l'erreur. On distingue deux types de théories : incrémentielles et de l'entité. Les conceptions plus incrémentielles de l'intelligence sont associées à des réactions plus positives face aux erreurs, comparativement aux conceptions de l'entité. Les apprenants adhérant à une théorie de l'entité de l'intelligence perçoivent souvent les erreurs comme des menaces pour leurs capacités, ce qui entraîne des comportements d'évitement et des réactions affectives négatives (Molden & Dweck, 2006).

L'objectif des travaux menés dans le cadre de cette thèse étaient non seulement d'étudier les réactions face à l'erreur des apprenants face à l'erreur en utilisant des mesures physiologiques, mais aussi de mettre en place de courtes interventions pour permettre à ces apprenants, quelle que soit leur théorie implicite, de réagir d'une manière adaptée qui permettrait un apprentissage à partir de l'erreur. Au cours de nos différents travaux de thèse, nous avons donc exploré ces réactions, en nous concentrant plus spécifiquement sur les aspects affectifs et attentionnels. Nous avons ainsi étudié comment les étudiants réagissent émotionnellement au feedback évaluatif signalant une erreur, et quelle attention ils accordent au feedback informatif qui suit, indiquant la réponse correcte.

Afin d'étudier ces réactions en fonction des théories implicites et d'évaluer des interventions visant à les modifier, nous avons d'abord validé une échelle en français mesurant les théories implicites tournées vers soi (Chapitre 5). Cet outil a ensuite été utilisé tout au long de nos recherches. Dans l'expérience 1 (Chapitre 6), nous avons eu recours à la VFC (variabilité de la fréquence cardiaque) et aux mouvements oculaires pour analyser les réactions d'apprenants ayant différentes théories implicites de l'intelligence. L'expérience 2 (Chapitre 6) a évalué

l'effet d'une courte introduction sur l'importance des erreurs, combinée avec la possibilité de choisir l'affichage du feedback informatif. Enfin, nous avons étudié la capacité d'une intervention basée sur l'autocompassion (Chapitre 7) à modifier positivement les réactions face à l'erreur.

Dans cette section, nous allons revenir sur les principaux résultats obtenus. Nous discuterons ensuite des contributions méthodologiques et théoriques de ce travail de thèse. Enfin, nous aborderons certaines limites de notre étude et perspectives pour de futures recherches. Nous conclurons ce manuscrit de thèse par une réflexion sur les théories implicites de l'intelligence.

Chapitre 8 : Discussion générale

1. Synthèse des résultats

Afin d'examiner l'influence des théories implicites sur la manière dont l'erreur est traitée et évaluer dans quelle mesure elles peuvent être modifiées, plusieurs études ont été entreprises. Ces recherches ont eu pour objectifs de :

1. Mettre au point un outil de mesure en français des théories implicites de l'intelligence (Chapitre 5).

2. Mesurer l'effet des théories implicite sur l'attention et les réactions émotionnelles face à l'erreur (1ère expérience du Chapitre 6).

3. Tenter d'influencer le traitement de l'erreur par des apprenants avec une théorie de l'entité par deux interventions : introduire la fonctionnalité de l'erreur dans l'apprentissage (2ème expérience du Chapitre 6) et induire de l'autocompassion vis-à-vis de l'erreur (expérience du Chapitre 7).

Dans la 1ère étude (Chapitre 5), nous avons procédé à la validation psychométrique de l'échelle des théories implicites tournées vers soi auprès d'une population étudiante francophone. En plus d'attester de la qualité des propriétés psychométriques de cette échelle, cet article a révélé que les théories implicites tournées vers soi étaient plus prédictives des buts d'accomplissement d'approche de maîtrise et d'approche de performance que les théories implicites de l'intelligence en général mesurées à l'aide de l'échelle de (Da Fonseca et al., 2007). De plus, nous avons observé une différence entre les théories implicites tournées vers soi et les théories générales de l'intelligence. Plus précisément, les théories implicites tournées vers soi étaient plus incrémentielles que les théories générales. Il est intéressant de noter que les théories implicites de l'intelligence tournées vers soi n'étaient pas associées aux buts d'évitement.

La 1re expérience du deuxième article (Chapitre 6) a permis de mettre en évidence les réactions affectives et attentionnelles des apprenants face à l'erreur et les résultats obtenus ont confirmé nos hypothèses. En effet, les apprenants ayant une théorie de l'entité ont manifesté

des réactions affectives plus intenses face à un feedback évaluatif signalant une erreur, comparativement à ceux ayant une théorie incrémentielle. Inversement, l'attention portée au feedback informatif indiquant la bonne réponse était plus importante chez les apprenants avec une théorie incrémentielle que chez ceux avec une théorie de l'entité. Enfin, l'apprentissage à partir de l'erreur était plus efficace pour les apprenants ayant une théorie incrémentielle que pour ceux ayant une théorie de l'entité.

La 2e expérience décrite dans le deuxième article (Chapitre 6) a produit des résultats moins concluants que prévu. L'introduction visant à expliquer l'utilité des erreurs n'a pas eu l'effet escompté, n'impactant significativement ni les réactions affectives des participants face au feedback évaluatif, ni leur attention aux informations contenues dans le feedback informatif. Cependant, une différence a été observée entre les participants ayant une théorie de l'entité et ceux ayant une théorie incrémentielle : les premiers ont montré une plus grande attention aux bonnes réponses que les seconds, mais uniquement dans le cas où ils avaient choisi de consulter le feedback informatif. En dehors de cette observation spécifique, aucune autre différence significative n'a été constatée concernant les réactions affectives ou l'apprentissage tiré des erreurs.

L'expérience présentée dans le troisième article (Chapitre 7) a montré des résultats significatifs quant à l'effet d'une intervention basée sur l'autocompassion sur les réactions face à l'erreur. Premièrement, l'intervention a effectivement entraîné une augmentation de l'autocompassion chez les apprenants du groupe ciblé. Deuxièmement, les données physiologiques ont révélé une amélioration potentielle de la régulation émotionnelle, suggérant que l'intervention a aidé les apprenants à mieux gérer leurs émotions face au feedback évaluatif. Troisièmement, le jugement d'apprentissage des apprenants s'est amélioré après l'intervention, bien que cet effet ait été modulé par leur état d'esprit. Quatrièmement, les apprenants du groupe intervention ont plus fréquemment porté leur regard sur le feedback informatif, un effet particulièrement notable chez ceux ayant une théorie de l'entité. Néanmoins, certains résultats n'ont pas été conformes à nos attentes. Contrairement à ce qui était attendu, Aucun effet de l'intervention sur le temps passé à examiner le feedback informatif ni sur la capacité des apprenants à apprendre de leurs erreurs n'a pu être mis en évidence, en raison des limites expérimentales discutées au Chapitre 7.

2. Apports théoriques

2.1. Théories implicites de l'intelligence et leurs corrélats.

Afin de comprendre les divergences comportementales observées chez les individus dans des situations d'accomplissement– entre ceux qui tentent de confirmer des aptitudes considérées comme statiques et ceux qui visent leur amélioration – il était nécessaire d'offrir un cadre conceptuel. C'est dans ce contexte qu'ont émergé les théories implicites de l'intelligence (TIIs, Dweck, 2006). Les TIIs servent alors de système de sens qui influencent divers processus psychologiques notamment les buts d'accomplissement, la perception de l'échec, l'engagement, la persévérance et d'autres réponses motivationnelles et comportementales. Cette thèse apporte de nouvelles preuves qui soutiennent partiellement les relations prétendues entre TIIs et buts d'accomplissement. Dans le chapitre 5, deux composantes des théories implicites ont été calculées : une composante reflétant la théorie incrémentielle et une composante reflétant la théorie de l'entité. Un score global a aussi été calculé, les scores les plus élevés indiquant une plus grande adhésion à une théorie de l'entité. La composante liée à la théorie incrémentielle était positivement corrélée avec les buts d'approche de maîtrise. Un résultat qui confirme les prédictions de Dweck et Leggett (1988) selon lesquelles les TIIs incrémentielles seraient associées à des buts de maîtrise. La méta-analyse de Burnette et al. (2013) a aussi établi cette association indiquant les TIIs incrémentielles étaient fortement liées aux buts de maîtrise d'approche comparés aux autres buts d'accomplissement. Cependant, ils ont également constaté que les TIIs incrémentielles étaient négativement associées aux objectifs de performance, ce qui n'était pas le cas dans notre étude. La composante incrémentielle était positivement corrélée avec les buts d'approche de performance. Ce résultat suggère que la relation entre les théories implicites de l'intelligence peut être plus complexe que ne l'imaginait Dweck (2006). Les TIIs incrémentielles ne sont pas explicitement et uniquement associées à des buts de maîtrise, mais les apprenants ayant un état d'esprit de croissance peuvent chercher à atteindre des buts de performances aussi bien que des objectifs d'apprentissage. Yu et McLellan (2020) ont, en effet, montré que les étudiants avec une TII incrémentielle peuvent poursuivre des buts multiples, de performance et de maîtrise. Concernant, la composante de l'entité, aucune corrélation n'a été établie avec les buts de performance, seule une corrélation négative a été mis en évidence avec les buts d'approche de maîtrise ce qui va dans le sens du cadre théorique des TIIs. Avoir une théorie de l'entité signifie que les capacités ne peuvent pas être développées, car elles sont fixes, ce

qui est incompatible avec ces buts. Néanmoins, la corrélation négative que nous avons observée entre le score global et les buts d'approche de performance soulève des questions importantes. Par ailleurs, les travaux de Yeager et al. (2019) issus de l'équipe de Dweck ont mis en évidence une corrélation positive entre les théories implicites de l'intelligence (TIIs) de l'entité et les buts d'évitement de performance. Cependant, nous n'avons pas retrouvé ce résultat dans notre propre étude.

Nos résultats ne sont pas les seuls à contester la validité des relations entre les théories implicites et les buts d'accomplissement. Les résultats de l'étude de Burgoyne et al. (2020) n'ont pas trouvé d'association significative entre les buts d'évitement de performance et les théories implicites. Yeager et Dweck (2020) ont tenté d'expliquer ces divergences de résultats concernant les associations entre TIIs et buts d'accomplissement. Selon eux, l'utilisation de mesures différentes selon les études des TIIs et des buts d'accomplissement pourrait influencer les relations mises en évidence entre ces deux composantes d'où les résultats qui diffèrent d'une étude à une autre. Nous avons en effet utilisé une mesure des théories implicites de l'intelligence centrée sur l'individu contrairement à la majorité des autres études. Le point fondamental à retenir, cependant, est que l'adhésion à une théorie de l'entité est liée, comme l'a montré notre étude, à moins de buts d'approche de maîtrise qui sont associés à des réactions plus adaptées face aux erreurs (Tulis et al., 2018).

Au-delà de leur association avec les buts d'accomplissement, les TIIs sont supposées être associées à un éventail plus large de facteurs (Dweck, 2006). Notre dernière étude sur l'autocompassion vient illustrer cette idée. Une adhésion plus élevée à la TII de l'entité s'est avérée être associée avec une plus grande tendance à l'auto-jugement et une sur-identification avec les difficultés rencontrées, ainsi qu'à des degrés plus faibles d'autocompassion, d'auto-bienveillance et de pleine conscience face à des situations difficiles. Ces résultats concordent avec les prédictions de Dweck, en particulier l'idée, soutenue par Yeager et Dweck (2020), que les différences entre les théories implicites sont plus marquées face aux obstacles. Les items de l'échelle de l'autocompassion portent sur la manière dont les personnes se sentent et réagissent lorsqu'elles sont confrontées à des difficultés. Ces items projettent les apprenants dans une situation où leurs croyances sur leurs capacités à changer la situation sont activées, révélant plus considérablement l'effet de leurs théories implicites. Les corrélations entre les TIIs et les dimensions de l'autocompassion (Chapitre 7) étaient, en effet, plus élevées que celles trouvées entre les TIIS et les buts d'accomplissement (Chapitre 5). Les corrélations de la 1re étude étaient comprises entre .12 et .21, tandis que les corrélations de la 3e étude étaient comprises entre .18 et .41. D'après Burgoyne et al. (2020), les associations notoires devraient

avoir au moins des tailles d'effet égales à la moyenne des tailles d'effet dans la littérature socio-psychologique, à savoir r ≈ 20 (Richard et al., 2003). Par conséquent, dans nos travaux, les TIIs tournées vers soi sont plus fortement associées aux dimensions de l'autocompassion qu'aux buts d'accomplissement.

Toutefois, comme la plupart des recherches, qui ont tenté de montrer le bien-fondé du modèle des théories implicites de l'intelligence, nos résultats restent corrélationnels. Nous ne savons pas avec certitude si le fait d'adhérer à un certain type de théorie implicite entraînera les effets étudiés. Comme le dit si bien Rigaud et al. (2025, p. 4), « il s'agit plutôt d'un ensemble complexe de pensées et d'attitudes qui interagissent avec divers autres facteurs, influençant ainsi les comportements d'un individu dans des contextes spécifiques ».

2.2. Les réactions aux erreurs à travers le prisme des théories implicites de l'intelligence

L'un des objectifs de ce travail de thèse était d'étudier les réactions face aux messages d'erreur selon les théories implicites des apprenants en utilisant les mouvements oculaires et la variabilité de la fréquence cardiaque. La 1re expérience présentée dans le chapitre 6 a été menée à cette fin. Sur la base des considérations théoriques des TIIs, les apprenants avec une théorie incrémentielle considèreraient l'erreur comme un revers temporaire et une occasion d'apprendre et de s'améliorer. Ils seraient plus susceptibles de mettre en place l'effort et les stratégies nécessaires en vue d'une amélioration future. A contrario, les apprenants avec une théorie de l'entité interprèteraient l'erreur comme une déficience personnelle et la preuve qu'ils manquent de capacités. Cette vision conduirait à des réactions affectives négatives, à l'évitement des tâches jugées difficiles et à une diminution de la persévérance après l'erreur (Dweck, 2006). Ainsi, nous avions fait l'hypothèse que les apprenants avec une TII incrémentielle manifesteront des réactions plus adaptées ; moins de réactions de stress, plus d'attention portée au feedback informatif, plus de temps consacré au traitement de ce feedback et plus d'apprentissage à partir des erreurs, comparé aux apprenants avec une TII de l'entité. Les résultats de la 1re expérience ont confirmé cette hypothèse en montrant que les apprenants avec une théorie de l'entité ont une plus grande réactivité physiologique face au feedback évaluatif de l'erreur, orientent moins leur attention vers le feedback informatif qui en suit, passe moins de temps à traiter ce feedback et corrigent moins leurs erreurs, par rapport aux apprenants avec une théorie incrémentielle. Ces résultats sont cohérents avec le modèle de Tulis et al. (2016) des processus individuels de l'apprentissage à partir de l'erreur. Ce modèle

stipule que la prise de conscience d'une erreur active une séquence d'évaluations (primaire et secondaire) qui influencent les émotions et la motivation ressenties. Un facteur clé dans ce processus est constitué par les caractéristiques individuelles, telles que les théories implicites de l'intelligence, qui influencent ces évaluations et, de ce fait, l'intensité des réactions émotionnelles. Dans le cas des apprenants ayant une théorie de l'entité, le fait de croire que leurs capacités ne peuvent être modifiées et que l'erreur rencontrée est une preuve de leur faible compétence, a vraisemblablement conduit à des affects négatifs, traduits par une activation physiologique plus accrue lors de la réception du feedback évaluatif, contrairement aux apprenants avec une théorie incrémentielle. Les caractéristiques individuelles déterminent également le besoin et le type de stratégies de régulation émotionnelle et motivationnelle utilisées pour maintenir l'engagement. Les apprenants avec une théorie de l'entité, confrontés à cet inconfort, ont potentiellement opté pour un désengagement de la tâche, comme l'indiquent le faible nombre et la courte durée de leurs fixations sur le feedback informatif par rapport aux apprenants ayant une théorie incrémentielle. Ces réactions ont eu pour conséquence un apprentissage moins efficace à partir de l'erreur. Ainsi, on pourrait conclure que les théories implicites de l'intelligence impactent la manière dont l'apprenant réagit à l'erreur (persistance, désengagement) et donc le processus d'apprentissage qui en découle. Il est important de noter que le type d'analyse effectué dans cette thèse ne permet pas de valider expérimentalement le modèle de Tulis et al. (2016), mais donne des arguments en sa faveur. En accord avec les résultats de l'expérience 1, la 3ème expérience présentée dans le chapitre 7 a montré que la distinction entre les réactions affectives face au feedback évaluatif et la manière dont les participants traitent le feedback informatif dépendent de leurs croyances fondamentales concernant la nature de l'intelligence (leurs TIIs). Pour ce qui est des réactions affectives, la différence entre la réaction physiologique des étudiants lors de la réception d'un feedback évaluatif et leur ligne de base lors de la réception d'un retour d'information évaluatif était d'autant plus marquée qu'ils adhéraient à une théorie de l'entité. Ces observations concernant les réactions affectives, où une plus forte adhésion à une théorie de l'entité est associée à une plus grande variation physiologique face à un feedback évaluatif négatif, peuvent être interprétées à travers le prisme de la théorie du Contrôle-Valeur des Émotions d'Accomplissement (Pekrun, 2006). Cette théorie suggère que les émotions ressenties pendant une tâche d'accomplissement sont influencées par deux évaluations clés : le contrôle, à quelle mesure ils pensent pouvoir influencer les résultats, et la valeur, l'importance qu'ils accordent à la tâche. Dans le contexte de nos études, les apprenants adhérant à une théorie de l'entité pourraient interpréter le feedback évaluatif négatif comme un indicateur d'un manque de

capacité fixe et incontrôlable. Cette perception d'un faible contrôle sur la situation pourrait alors engendrer des réactions affectives négatives plus intenses (comme l'anxiété ou la frustration), se manifestant par une réaction physiologique plus marquée par rapport à leur état de base. Une réaction qui est moins prononcée chez les apprenants avec une théorie incrémentielle puisqu'ils percevraient un plus grand contrôle sur leurs capacités jugées comme malléables.

Concernant les réactions attentionnelles, une plus forte adhésion à une théorie de l'entité était associée à une faible attention portée au feedback informatif à la suite d'une erreur, que ce soit en termes d'allocation attentionnelle ou de temps d'engagement avec ce feedback. Les résultats des deux expériences (expérience 1 du chapitre 6 et l'étude du chapitre 7) qui ont montré qu'en adhérant davantage à une théorie de l'entité, les apprenants auraient tendance à moins mobiliser leur attention sur le retour d'information et à y consacrer moins de temps, peuvent être interprétés dans le cadre de la Théorie de l'Expectation-Valeur (Eccles & Wigfield, 2002). Selon cette théorie, la volonté des apprenants de s'engager dans des tâches contraignantes dépend de l'attente du succès (est-ce que je peux améliorer mes capacités ?) et de la valeur de la tâche (est-ce que les erreurs sont utiles à l'apprentissage ?). Adhérer à une théorie de l'entité conduirait les apprenants à avoir des attentes plus faibles quant à la capacité du feedback informatif à améliorer leurs performances futures, car leurs compétences sont fixes, et à attribuer une valeur subjective plus faible à ce feedback, car il est perçu comme moins utile, contrairement à des apprenants qui adhèrent à une conception plus malléable de leur intelligence. Par conséquent, leur attention et leur engagement à l'égard du feedback informatif diminue.

Les résultats de l'expérience 1 et l'étude 3 concernant les réactions face à l'erreur en fonction des TIIs confirment les prédictions de Dweck (2006) et répliquent les résultats de plusieurs études qui ont utilisé d'autres mesures que la variabilité du rythme cardiaque et les mouvements oculaires (Burnette et al., 2013, 2020; Chouvalova et al., 2024; Mangels et al., 2006; Moser et al., 2011; Schroder et al., 2017). L'ensemble de ces éléments confirme que les individus ayant une théorie incrémentielle de l'intelligence réagissent de manière plus adaptée aux erreurs que ceux adhérant à une théorie de l'entité.

Toutefois, la 2e expérience de l'étude 2 n'a pas réussi à répliquer les résultats de la 1re expérience. Étant donné que les TIIs ne fonctionnent pas de manière isolée, mais interagissent avec des facteurs motivationnels et émotionnels plus larges (Burnette et al., 2013; Rigaud et al., 2025), il est possible que des facteurs externes (par exemple, le stress général, les expériences académiques antérieures, la motivation à participer à l'expérience) aient influencé

les réponses des apprenants différemment dans les trois expériences (les deux expériences de l'étude 2 et l'expérience de l'étude 3). Dans leur article « *What can be learned from Mindset controversies* », Yeager et Dweck (2019) insistent sur le fait que les effets des TIIs se distinguent surtout lorsque les individus sont confrontés à des difficultés. Par conséquent, les erreurs produites dans l'expérience 2, dans un environnement sans enjeux académiques, pourraient ne pas avoir été perçues comme de véritables défis par les participants. Une considération importante pour l'interprétation de l'ensemble des résultats de nos études qui ont été menées au sein de contextes comparables.

2.3. Changer positivement les réactions aux erreurs : Une approche sans modification directe des théories implicites de l'intelligence

Le deuxième objectif de ce travail de thèse était de tester l'effet de courtes interventions pour aider les apprenants quelle que soit leur théorie implicite d'intelligence à mieux réagir face aux messages d'erreur et favoriser un apprentissage à partir de ceux-ci. La 2e expérience présentée au chapitre 6 a testé une courte introduction sur l'utilité des erreurs combinée avec la possibilité de choisir d'afficher le feedback informatif. Nous avons aussi testé une courte intervention basée sur l'autocompassion dans le chapitre 7.

La simple introduction de la fonctionnalité des erreurs n'a pas eu les effets escomptés sur les réactions affectives et attentionnelles des apprenants face à l'erreur. Ce résultat suggère que les croyances sur la malléabilité ou la fixité de son intelligence seraient profondément ancrés et difficiles à modifier par une simple et courte exposition à une vidéo sur l'utilité des erreurs. Concernant la possibilité de choisir d'afficher le feedback, un impact positif a été observé uniquement chez les apprenants ayant une théorie de l'entité. En effet, lorsque ces derniers optaient pour l'affichage du feedback informatif après avoir commis une erreur, ils accordaient une plus grande attention à celui-ci que les apprenants ayant une théorie incrémentielle. Cette différence d'attention peut s'expliquer par la distinction fondamentale entre les théories de l'entité et incrémentielle. Les individus avec une théorie de l'entité ont moins de sentiment de contrôle sur leurs capacités que les individus ayant une théorie incrémentielle (Burnette et al., 2013). Par conséquent, le choix d'afficher le feedback informatif pourrait être plus important pour les apprenants ayant une théorie de l'entité, car cela renforcerait leur sentiment de contrôle, augmentant ainsi leur engagement envers le

feedback et influençant leur comportement attentionnel. Travailler sur l'augmentation du sentiment de contrôle des apprenants est donc une piste d'intervention future qui permettrait d'améliorer les réactions et la persévérance des apprenants lorsqu'ils sont confrontés à des difficultés.

L'intervention basée sur l'autocompassion a eu des effets plus notables. Celle-ci n'a pas seulement augmenté efficacement l'autocompassion des apprenants, quelle que soit leur théorie implicite de l'intelligence, mais a amélioré leur réactivité vagale, signalant une meilleure régulation affective post-intervention. Les apprenants qui ont bénéficié de l'intervention ont aussi fixé plus souvent le feedback informatif, surtout ceux avec une théorie de l'entité et l'intervention a positivement influencé leur jugement subjectif d'apprentissage. Cette approche semble prometteuse pour aider les apprenants à mieux gérer leurs réactions affectives et, dans une certaine mesure, leurs réactions attentionnelles en contexte académique lorsqu'ils sont confrontés à des erreurs. L'autocompassion, en favorisant une réévaluation cognitive (Diedrich et al., 2016), a probablement permis de percevoir les erreurs comme une information précieuse plutôt qu'une menace à la compétence, modifiant ainsi le résultat des évaluations primaires et secondaires et les émotions qui s'ensuivent. En réduisant la menace perçue, les apprenants ont pu alors adopter moins de comportements d'évitement (moins de désengagement vis-à-vis de feedback informatif). L'autocompassion a probablement aussi favorisé une vision équilibrée des capacités des apprenants (Neff, 2021), améliorant leur évaluation subjective de leur apprentissage. Toutefois, aucune différence n'a été observée dans les durées de fixation, ce qui suggère que si les apprenants ont certes orienté plus fréquemment leur attention vers le feedback, la profondeur du traitement est restée inchangée et n'a pas eu d'impact significatif sur leur performance réelle.

L'autocompassion offre un potentiel intéressant pour réduire les réactions affectives négatives et les comportements d'évitement consécutifs aux erreurs, mais son action n'impacterait pas directement les stratégies d'apprentissage elles-mêmes. Si on reprend le modèle de Tulis et al. (2016), l'autocompassion favoriserait principalement les étapes initiales du processus d'apprentissage et ouvrirait la voie à un accompagnement sur la dernière étape : le processus d'apprentissage. Ainsi, une intervention combinée apparaît comme une solution prometteuse pour accompagner l'ensemble du processus d'apprentissage à partir de l'erreur : elle inclurait un travail sur l'autocompassion et une formation ciblée sur les stratégies d'apprentissage.

3. Apports méthodologiques

3.1. Une échelle des théories implicites de l'intelligence : Une approche centrée sur l'individu

Cette thèse a permis de procéder à la validation psychométrique d'une nouvelle échelle en langue française des théories implicites de l'intelligence. Contrairement aux échelles préexistantes qui traitent l'intelligence comme un concept général partagé par tous les individus, cette échelle considère l'intelligence comme un concept personnel qui peut différer d'un individu à l'autre. Les croyances liées à notre intelligence peuvent être donc différentes des croyances liées à une intelligence générale qui n'est pas spécifiquement rattachée à l'individu et à ses capacités. C'est exactement ce que la première étude a démontré. Les conceptions sur l'intelligence personnelle étaient plus malléables que les conceptions sur l'intelligence en général. Un résultat qui corrobore celui de De Castella & Byrne (2015), auteurs de l'échelle d'origine. En outre, les théories implicites de l'intelligence mesurées à partir de *l'échelle des théories implicites tournées vers soi* étaient plus prédictifs des buts d'accomplissement que d'autres mesures générales. Les théories implicites centrées sur soi sont donc des prédicteurs plus fiables des buts d'accomplissement que les théories générales de l'intelligence. Cette distinction souligne l'importance de considérer des mesures spécifiques pour mieux comprendre les réactions et comportements des apprenants.

3.2. Étudier les réactions aux erreurs : L'utilisation conjointe des mouvements oculaires et de la variabilité de la fréquence cardiaque

Bien que Dweck (2006) ait affirmé que les étudiants ayant une théorie de l'entité de l'intelligence ont tendance à éviter le feedback correctif, les mécanismes sous-jacents demeurent peu clairs. En combinant les mesures de la variabilité de la fréquence cardiaque avec les mouvements oculaires, nos travaux de thèse ont essayé de démêler les composantes affectives et attentionnelles des réactions des apprenants face aux erreurs.
Les recherches existantes ont eu principalement recours à des mesures auto-rapportées (Burnette et al., 2013; Chouvalova et al., 2024; Dresel et al., 2013) et neurophysiologiques (Mangels et al., 2006; Moser et al., 2011; Puusepp et al., 2021; Schroder et al., 2017). Les

mesures auto-rapportées reposent sur la conscience et la volonté des étudiants de dévoiler leurs réactions émotionnelles et cognitives. Les mesures neurophysiologiques, quant à elle, sont souvent plus contraignantes à mettre en œuvre que les mesures VFC et de mouvements oculaires. Il semblait donc judicieux d'intégrer la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) et les mouvements oculaires pour mieux appréhender les réactions aux erreurs. Cette approche a fourni des indicateurs objectifs et en temps réel des réactions affectives et attentionnelles qui ne dépendent pas uniquement des déclarations des participants ou des résultats comportementaux.

Il est important de noter que combiner ces deux mesures n'est pas étranger à la littérature. Par exemple, une étude a utilisé une mesure basée sur le suivi oculaire qui, associée à des indices de VFC, s'est avérée prédictive des préférences des spectateurs pour des contenus vidéo, signalant ainsi un lien entre les configurations attentionnelles et les réactions physiologiques (Christoforou et al., 2015). Une autre recherche a examiné l'impact des évaluations sociales, recevoir des éloges ou des critiques, sur les réponses psychophysiologiques à l'aide de l'oculométrie, de la pupillométrie et de la VFC (Vanderhasselt et al., 2015). Une étude plus récente a combiné les mesures de la VFC avec les mesures oculaires pour étudier la charge mentale lors de tâches complexes (Mark et al., 2024). Si ces méthodes ont été utilisées conjointement dans d'autres contextes, leur application conjointe aux réactions d'erreur reste sous-explorée.

La combinaison de l'oculométrie et de la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) pour étudier les réactions aux erreurs est relativement nouvelle, et peu de recherches ont appliqué ces deux techniques spécifiquement au traitement des erreurs, notamment dans le cadre des théories implicites de l'intelligence. Les travaux de cette thèse révèlent le potentiel considérable de l'intégration de ces deux mesures qui offrent une meilleure compréhension des processus sous-jacents qui régissent l'apprentissage à partir des erreurs. Cette approche permet de dévoiler l'interaction complexe entre les dynamiques affectives et attentionnelles. Elle ouvre également des perspectives prometteuses pour l'évaluation rigoureuse de l'efficacité des interventions ciblées sur la gestion des erreurs.

Cette thèse a certes apporté des éclaircissements sur les théories implicites de l'intelligence et leurs influences sur les réactions face à l'erreur, ainsi que sur les potentielles interventions qui peuvent être mises en place pour favoriser des réactions adaptées. Cependant, elle présente aussi des limites, dont certaines ont déjà été évoquées dans les

discussions des chapitres précédents. La section suivante reviendra sur ces limites et explorera des pistes de recherche futures.

4. Limites et perspectives

Les limites de cette recherche peuvent être regroupées en plusieurs catégories : celles liées aux participants, celles inhérentes aux mesures employées, celles relatives à la manipulation expérimentale et enfin celles concernant l'analyse des données.

4.1. Liées aux participants

Concernant les caractéristiques de notre échantillon, il est important de noter que toutes les études présentées dans ce travail de thèse ont été menées auprès d'étudiants de première année de l'université Paris Nanterre, avec une prédominance d'étudiants inscrits en première année de licence en psychologie. Cette spécificité soulève la question de la généralisation des résultats à d'autres populations (étudiants d'autres disciplines, niveaux d'études ou populations non universitaires). De plus la participation à ces études, principalement l'étude 2 et 3, était majoritairement motivé par l'obtention de points pour la validation d'une UE (unité d'étude). Cela a pu influencer la motivation et l'engagement des participants à réaliser la tâche expérimentale et a pu introduire des biais influençant leurs réactions et leurs performances.

En particulier pour la 2e expérience de l'étude 2, la taille de l'échantillon pourrait être considérée comme une limite. Bien que des analyses de puissance aient été réalisées à priori, elles étaient basées sur les tailles d'effet obtenues dans la 1re expérience. Il est possible que l'effectif recruté n'ait pas été optimal pour détecter les effets souhaités ou les interactions complexes entre les variables étudiées, compte tenu du plan expérimental choisi et de la variabilité potentielle des réactions individuelles.

Une autre limite réside dans la relative homogénéité de notre population concernant les théories implicites de l'intelligence. Les participants ont montré une tendance générale à adhérer à une théorie plutôt incrémentielle, ce qui a pu limiter la variance observée et potentiellement atténuer l'effet des variables étudiées en fonction de ces théories.

Pour pallier ces limites, les recherches futures pourraient diversifier l'échantillon en recrutant des participants issus de différentes disciplines universitaires et niveaux d'études. Elles devraient inclure des participants de différents backgrounds socio-économiques et culturels

pour examiner si les réactions face à l'erreur et l'effet des interventions sont influencés par ces facteurs. Yeager et Dweck (2020) souligne en effet qu'il reste encore beaucoup à apprendre concernant l'hétérogénéité des résultats en fonction des contextes culturels et internationaux. Les travaux pourraient aussi mesurer la motivation de participants à participer aux études expérimentales, en utilisant par exemple *the Motivation to Participate in Psychological Research Scale* (MPPRS ; Freng, 2020) pour contrôler son effet sur les variables étudiées ou analyser son impact sur les réactions face à l'erreur dans un contexte expérimentale et sur l'efficacité des interventions.

4.2. Liées aux mesures

Les mesures employées dans cette thèse présentent plusieurs limites. Premièrement les mesures auto-rapportées sont intrinsèquement dépendantes de la conscience des participants quant à leurs propres buts d'accomplissement, leurs ressentis face aux difficultés et leurs croyances concernant leur intelligence, ainsi que de leur volonté de les divulguer sincèrement, soulevant des préoccupations quant aux biais de désirabilité sociale et aux difficultés d'introspection. Deuxièmement, les mesures physiologiques, rythme cardiaque et mouvements oculaires, sont sensibles aux artefacts nécessitant un prétraitement rigoureux. Les mesures de la variabilité de la fréquence cardiaque sont très sensibles aux variations de l'environnement et à des facteurs externes comme la température de la pièce et les mouvements. Un problème majeur a été la perte importante de données HRV, particulièrement marquée dans l'étude du chapitre 6 (entre 44 et 48%), ce qui a réduit la puissance statistique des analyses basées sur cette mesure. Même si le RMSSD est couramment utilisé comme indice de l'activité parasympathique et de la régulation émotionnelle, il peut être affecté par la respiration, qui a été contrôlée dans nos expériences, mais aussi par la condition physique, la consommation de caféine, la qualité du sommeil et l'état de santé général (Laborde et al., 2017). La confrontation avec le feedback évaluatif est assez courte d'où le choix de l'indicateur RMSSD qui est souvent utilisé dans les enregistrements à court terme, mais sa stabilité sur de brèves périodes est débattue (Shaffer & Ginsberg, 2017). De plus, l'interprétation du lien entre les données physiologiques et les états psychologiques reste complexe.

De même, les données des mouvements oculaires peuvent être affectées par de petits mouvements de la tête, une dérive de l'étalonnage ou des conditions d'éclairage sous-optimales (Duchowski, 2017). De longues sessions d'expérimentation peuvent entraîner une fatigue oculaire, ce qui rend les mesures peu fiables au fil du temps. En outre, l'inférence des

états cognitifs à partir des mouvements oculaires n'est pas univoque ; ce n'est pas parce qu'un élève fixe une section de feedback qu'il la traite efficacement ou qu'il en comprend le contenu. Enfin, il convient de noter que dans l'étude 3, un effet plafond a été observé pour la mesure de l'apprentissage à partir de l'erreur, suggérant que l'instrument utilisé n'était peut-être pas suffisamment sensible pour distinguer les niveaux de performance les plus élevés. La question de la sensibilité et la validité des mesures de l'apprentissage à partir de l'erreur se pose alors. Pour atténuer l'effet de ces limites, surtout celles qui concernent les mesures physiologiques, les recherches futures pourraient utiliser des approches multimodales en combinant la VFC, de l'oculométrie et des mesures d'auto-rapportés pour aider à valider l'interprétation des données. Il faudra aussi contrôler dans la mesure du possible les ressources d'artefacts en normalisant les conditions de passage des participants afin d'améliorer la fiabilité des mesures. En outre, les marqueurs physiologiques et attentionnels doivent être interprétés avec prudence. Les prochaines recherches pourraient aussi s'appuyer sur des mesures plus sensibles et spécifiques pour évaluer l'apprentissage à partir de l'erreur.

4.3. Liées à la manipulation expérimentale et aux interventions

Concernant les manipulations expérimentales, plusieurs aspects méritent d'être considérés comme des limites potentielles. Premièrement, toutes les tâches d'apprentissage ont été administrées individuellement sur ordinateur. Bien que cela ait permis un contrôle rigoureux du protocole, ce contexte pourrait différer des situations d'apprentissage non numérique où un apprenant interagit avec du matériel d'apprentissage et potentiellement avec un instructeur et/ou d'autres apprenants dans un environnement physique, limitant potentiellement la généralisation des résultats à des environnements plus écologiques. Deuxièmement, le niveau de complexité des vidéos (étude 2, Chapitre 6) et, en particulier, des textes à lire (étude 3, Chapitre 7), pourrait ne pas avoir été suffisamment élevé pour induire un taux d'erreurs important. La facilité avec laquelle les participants ont pu corriger leurs erreurs dans la 3ème étude pendant la première tâche d'apprentissage atteste de ce faible niveau de complexité et a pu réduire la variabilité des réactions observées et potentiellement masquer les effets sur l'apprentissage à partir de l'erreur. De plus, aucun questionnaire de connaissances préalables n'a été utilisé dans cette étude. Nous n'avions donc eu aucun contrôle sur le niveau de connaissances initial des participants.
Enfin, le laps de temps séparant les présentations de feedback pourrait ne pas avoir été suffisant pour permettre à la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) de revenir à un état

de base entre les événements. Ce manque de récupération physiologique complète pourrait avoir influencé les mesures de réactivité émotionnelle et potentiellement compliqué l'interprétation des données VFC.
Sur la base de ces limites, les études futures pourraient réaliser des études dans des environnements d'apprentissage plus authentiques, tels que des salles de classe ou des plateformes d'apprentissage en ligne, renforçant ainsi la validité écologique des résultats.
Ils peuvent utiliser des tâches d'apprentissage plus complexes et potentiellement plus longues, susceptibles de générer un taux d'erreurs plus élevé et qui permettrait de mieux solliciter les processus d'apprentissage. Les recherches futures pourraient aussi examiner l'impact de différents délais entre les feedbacks sur les réponses physiologiques

En ce qui concerne les interventions, bien que l'introduction ait été conçue pour influencer les réactions initiales des participants, les résultats n'ont pas permis de mettre en évidence un effet significatif. Il reste cependant difficile de déterminer si cette absence d'effet est attribuable à la durée limitée de la vidéo ou à son contenu. L'intervention d'autocompassion a montré des effets significatifs sur les réactions face aux erreurs, mais la durabilité de ces changements n'a pas été évaluée dans le cadre de cette thèse. Enfin, une autre limite concerne la compréhension et l'adhésion des participants aux interventions proposées, en particulier pour l'expérience 2 (étude 2). Il n'a pas été possible de vérifier de manière directe si les consignes ont été pleinement comprises et suivies par l'ensemble des participants, ce qui aurait pu impacter les résultats de cette expérience.
Les recherches futures devraient tester différentes introductions aux erreurs qui traitent les erreurs sous différents angles. De plus, des vidéos plus longues ou le fait d'être exposé au même message à plusieurs reprises pourraient avoir un effet plus significatif sur les réactions aux erreurs. Afin de pouvoir tester l'effet des interventions à long terme, des études longitudinales sont nécessaires. L'ajout de mesures pour s'assurer que les participants ont réellement compris les tâches et bien suivi les instructions, peut être un plus.

4.4. Liées à l'analyse des données

Il est important de noter que les résultats de nos travaux sont intrinsèquement liés aux choix méthodologiques effectués, notamment le type d'analyse statistique et les modèles spécifiques testés et retenus. De plus, les tailles d'effet observées, faibles à modérées, suggèrent que les modèles utilisés dans nos différentes études n'expliquent qu'une partie de la variabilité de nos données. En outre, comme souligné précédemment, les conclusions

concernant les réactions aux erreurs en fonction des théories implicites de l'intelligence sont de nature corrélationnelle. Par conséquent, nous ne pouvons pas établir de lien de causalité direct entre une prédisposition pour une théorie implicite donnée et la survenue de ces réactions spécifiques. Enfin, pour examiner les relations complexes entre les différentes variables étudiées, il aurait été pertinent de réaliser des modèles d'équation structurelle reliant les théories implicites de l'intelligence en tant que prédicteurs des réactions physiologiques, qui à leur tour prédisent les réponses attentionnelles et finalement l'apprentissage à partir d'erreurs.

Pour de futures recherches, il serait pertinent de tester ces relations complexes entre réactions affectives et réactions attentionnelles. Ces études devraient aussi inclure un plus grand nombre de participants et considérer d'autres caractéristiques individuelles au-delà des théories implicites de l'intelligence, telles que les croyances sur l'effort et le sentiment d'efficacité personnelle. Il serait également bénéfique d'intégrer des caractéristiques contextuelles, comme un climat positif à l'erreur (Annexe D) et les croyances des parents ou des enseignants. Ces améliorations permettraient de mieux comprendre la variabilité inexpliquée dans nos résultats et de confirmer ou d'infirmer les conclusions de ce travail.

Chapitre 8. Discussion générale – Points clés

- Les théories implicites influencent la manière dont les étudiants réagissent aux erreurs et exploitent les feedbacks.
- Modifier ces croyances par une simple introduction sur l'utilité des erreurs ne suffit pas.
- L'autocompassion constitue une piste prometteuse pour améliorer la gestion émotionnelle face aux erreurs, mais elle n'agit pas directement sur les stratégies cognitives d'apprentissage.
- Une intervention plus complète, alliant autocompassion et formation aux stratégies d'apprentissage, pourrait être une solution efficace pour favoriser une meilleure utilisation des erreurs dans le processus d'apprentissage.
- Plusieurs limites de ce travail doivent être considérées : la population (étudiants en psychologie), le matériel, la durée des interventions, les mesures physiologiques (avec des artefacts potentiels), et le choix des analyses qui pourrait biaiser nos résultats.

Chapitre 9 : Conclusion générale

Arrivé au terme de cette recherche, il convient de rappeler que ce travail s'est consacré à l'étude des réactions des étudiants face aux erreurs. En prenant comme point de départ les théories implicites de l'intelligence, cette recherche a cherché à élucider pourquoi certains étudiants éprouvent plus de difficultés face aux erreurs et tirent moins profit du feedback. De plus, différentes pistes d'intervention pour aider les étudiants à apprendre de leurs erreurs ont été explorées. Certains résultats de la littérature ont été répliqués, comme la relation entre les théories implicites et les buts d'accomplissement, la réaction attentionnelle au feedback informatif et la saillance affective du feedback évaluatif pour les étudiants avec une théorie de l'entité. Notre recherche a également confirmé l'association entre les théories implicites de l'intelligence et la tendance des étudiants à être compatissants envers eux-mêmes, une plus forte adhésion à une théorie incrémentielle étant associée à plus d'autocompassion, de bienveillance et à moins d'auto-jugement. Les pistes d'intervention que nous avons investiguées n'ont pas toutes mené aux résultats souhaités. Cependant, ces investigations nous ont permis de comprendre quelles interventions seraient les plus efficaces pour modifier les réactions des étudiants face aux erreurs tout en tenant compte de leurs théories implicites de l'intelligence. Nous avons appris qu'il ne suffisait pas de présenter aux étudiants la fonctionnalité des erreurs, au moyen d'une courte vidéo, pour changer les perceptions et les réactions profondément enracinées. Il est plus efficace de cibler des processus psychologiques d'adaptation, tels que l'autocompassion et le contrôle perçu, qui influencent la manière dont les étudiants réagissent aux erreurs.

Toutefois, durant ces années de thèse, nous nous sommes trouvés confronter aux mêmes controverses qui entourent les théories implicites de l'intelligence :

- Les théories de l'entité et incrémentielle sont-elles des dimensions indépendantes, ou représentent-elles les deux pôles d'un même continuum ?
- Les mesures auto-rapportées capturent-elles adéquatement la complexité des croyances des individus concernant l'intelligence ?
- Quelle est la réelle force du lien entre les théories implicites et les réactions face aux difficultés ou la performance ou les résultats académiques, au-delà des études initiales ?

- Dans quelle mesure l'impact des théories implicites sur la performance est-il influencé par des facteurs contextuels (climat de classe, pratiques pédagogiques) ?
- Les théories implicites de l'intelligence se distinguent-elles clairement d'autres construits psychologiques similaires tels que l'auto-efficacité, l'attribution causale et les buts d'accomplissement, et quelle est leur contribution unique ?

Nous présentons ci-dessous quelques réflexions sur les théories implicites de l'intelligence inspirées de notre expérience avec ce champ de recherche.

Réflexion sur les théories implicites de l'intelligence

Il est vrai que les théories implicites de l'intelligence offrent un cadre de référence utile pour comprendre les réactions des étudiants face aux erreurs et leurs comportements dans une situation d'apprentissage. Plusieurs études ont mis en évidence leur lien avec les performances académiques (Blackwell et al., 2007) ainsi que leur association avec les réactions face aux erreurs (Moser et al., 2011). Cependant, des méta-analyses récentes (Burnette et al., 2023 ; Sisk et al., 2018) suggèrent que ces effets sont souvent faibles ou inexistants, en particulier chez les étudiants plus âgés. De plus, les travaux de Macnamara et Burgoyne (2023) montrent que l'influence des théories implicites dépend largement du contexte. Nous supposons que le pouvoir explicatif des théories implicites de l'intelligence peut être limité, en particulier chez les apprenants plus âgés tels que les étudiants de premier cycle. Contrairement aux jeunes étudiants – la population la plus courante des études sur les théories implicites de l'intelligence – chez lesquels les théories naïves sur l'intelligence peuvent être plus stables et influencent plus fortement le comportement, les étudiants à l'université seraient influencés par d'autres facteurs. Dans l'enseignement supérieur, où les étudiants ont accumulé des expériences d'apprentissage diverses, leurs comportements académiques peuvent être influencés par un ensemble plus large de facteurs cognitifs, émotionnels et motivationnels, au-delà de leurs seules croyances sur l'intelligence (l'efficacité personnelle, des croyances spécifiques à la discipline, les stratégies d'autorégulation acquises au cours de leurs années d'étude…).

Dans le cadre de cette thèse, nos résultats confirment certaines prédictions des théories implicites, mais soulignent également leurs limitations en tant que facteur explicatif unique des réactions aux erreurs. En effet:

- Nous n'avons retrouvé les associations attendues entre les théories implicites et les réactions aux erreurs que dans deux expériences sur trois, ce qui suggère que d'autres variables influencent ces réactions.
- Nos résultats montrent que l'autocompassion joue un rôle clé dans la régulation des émotions face aux erreurs, indépendamment des théories implicites. Cela suggère que certains facteurs émotionnels pourraient modérer ou même dépasser l'effet des théories implicites sur les réactions aux erreurs.

Par ailleurs, plusieurs questions théoriques restent en suspens :

- Les théories de l'entité et incrémentielle forment-elles un continuum ou sont-elles deux dimensions indépendantes ? Certains travaux suggèrent que les individus peuvent avoir des croyances mixtes selon le contexte (Molden & Dweck, 2006). Nos résultats vont plutôt dans ce sens.

- Les mesures auto-rapportées capturent-elles adéquatement la complexité des croyances sur l'intelligence ? La désirabilité sociale et la difficulté d'introspection peuvent biaiser les réponses des participants.

- Dans quelle mesure les théories implicites influencent-elles réellement la performance académique ? Au-delà des premières études, les effets observés sont souvent faibles et conditionnés par des facteurs contextuels comme le climat de classe ou les pratiques pédagogiques (Yeager & Dweck, 2019).

- Quelle est leur contribution unique par rapport à d'autres théories motivationnelles ? La Théorie de l'Expectation-Valeur (Eccles & Wigfield, 2002), la théorie du Contrôle-Valeur des Émotions d'Accomplissement (Pekrun, 2006) et la théorie de l'attribution (Weiner, 1985) offrent également des explications pertinentes aux réactions face aux erreurs.

En tenant compte de ces éléments, nous ne suggérons pas d'abandonner l'étude des théories implicites de l'intelligence. Cependant, les recherches futures gagneraient à les intégrer dans un cadre plus large, incluant des modèles de régulation émotionnelle et motivationnelle. Cette approche permettrait de mieux comprendre la complexité de l'apprentissage à partir des

erreurs, notamment chez les étudiants plus âgés, dont les comportements académiques semblent influencés par une interaction de facteurs cognitifs, émotionnels et motivationnels.

Pour conclure, cette thèse met en lumière que les réactions aux erreurs ne dépendent pas uniquement des théories implicites de l'intelligence, mais aussi d'autres mécanismes cognitifs et émotionnels. Il est donc essentiel de repenser les interventions pédagogiques en intégrant, au-delà des croyances sur l'intelligence, des stratégies d'apprentissage et de régulation émotionnelle, telles que l'autocompassion. Une telle approche offrirait des outils concrets pour aider les étudiants à transformer leurs erreurs en véritables opportunités d'apprentissage.

Références bibliographiques

Ahmida, M., Fenouillet, F., Léger, L. (in press). Échelle des théories implicites l'intelligence tournées vers soi (TIIS) : validation psychométrique en langue française auprès d'une population étudiante. *Psychologie Française*.

Anderson, J. R. (1990). *Cognitive Psychology and Its Implications*. New York: W. H. Freeman.

Appelhans, B. M., & Luecken, L. J. (2006). Heart Rate Variability as an Index of Regulated Emotional Responding. *Review of General Psychology, 10*(3), 229–240. https://doi.org/10.1037/1089-2680.10.3.229

Arakaki, X., Arechavala, R. J., Choy, E. H., Bautista, J., Bliss, B., Molloy, C., ... & Kloner, R. A. (2023). The connection between heart rate variability (HRV), neurological health, and cognition: A literature review. *Frontiers in Neuroscience, 17*, 1055445.

Arbel, Y., Feeley, E., & He, X. (2020). The Effect of Feedback on Attention Allocation in Category Learning: An Eye Tracking Study. *Frontiers in Psychology, 11*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.559334

Aronson, J., Fried, C. B., & Good, C. (2002). Reducing the Effects of Stereotype Threat on African American College Students by Shaping Theories of Intelligence. *Journal of Experimental Social Psychology, 38*(2), 113–125. https://doi.org/10.1006/jesp.2001.1491

Azam, M. A., Ritvo, P., Fashler, S. R., & Katz, J. (2018). Stressing the feedback: Attention and cardiac vagal tone during a cognitive stress task. *Cognition and Emotion, 32*(4), 867–875. https://doi.org/10.1080/02699931.2017.1346500

Betella, A., & Verschure, P. F. M. J. (2016). The Affective Slider: A Digital Self-Assessment Scale for the Measurement of Human Emotions. *PLOS ONE, 11*(2), e0148037. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148037

Blackwell, L. S., Trzesniewski, K. H., & Dweck, C. S. (2007). Implicit Theories of Intelligence Predict Achievement Across an Adolescent Transition: A Longitudinal Study and an Intervention. *Child Development, 78*(1), 246–263. https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.00995.x

Blain-Joguet, E. (2012). Au cœur de l'erreur. *Actualités en analyse transactionnelle, 141*(1), 71–73. https://doi.org/10.3917/aatc.141.0071

Boekaerts, M. (2006). Self-regulation and effort investment. In E. A. Locke (Ed.), *Handbook of principles of organizational behavior* (2nd ed., pp. 123–140). Blackwell.

Boudreau, P., Yeh, W. H., Dumont, G. A., & Boivin, D. B. (2012). A circadian rhythm in heart rate variability contributes to the increased cardiac sympathovagal response to awakening in the morning. *Chronobiology International, 29*(6), 757–768. https://doi.org/10.3109/07420528.2012.678535

Broda, M., Yun, J., Schneider, B., Yeager, D. S., Walton, G. M., & Diemer, M. (2018). Reducing inequality in academic success for incoming college students: A randomized trial of growth mindset and belonging interventions. *Journal of Research on Educational Effectiveness, 11*(3), 317–338. https://doi.org/10.1080/19345747.2018.1429037

Burgoyne, A. P., Hambrick, D. Z., & Macnamara, B. N. (2020). How firm are the foundations of mind-set theory? The claims appear stronger than the evidence. *Psychological Science, 31*(3), 258–267. https://doi.org/10.1177/0956797619897588

Burnette, J. L., Billingsley, J., Banks, G. C., Knouse, L. E., Hoyt, C. L., Pollack, J. M., & Simon, S. (2023). A systematic review and meta-analysis of growth mindset interventions: For whom, how, and why might such interventions work? *Psychological Bulletin, 149*(3–4), 174–205. https://doi.org/10.1037/bul0000368

Burnette, J. L., Knouse, L. E., Vavra, D. T., O'Boyle, E., & Brooks, M. A. (2020). Growth mindsets and psychological distress: A meta-analysis. *Clinical Psychology Review, 77*, 101816. https://doi.org/10.1016/j.cpr.2020.101816

Burnette, J. L., O'Boyle, E. H., VanEpps, E. M., Pollack, J. M., & Finkel, E. J. (2013). Mind-sets matter: A meta-analytic review of implicit theories and self-regulation. *Psychological Bulletin, 139*(3), 655–701. https://doi.org/10.1037/a0029531

Castaldo, R., Melillo, P., Bracale, U., Caserta, M., Triassi, M., & Pecchia, L. (2015). Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: A systematic review with meta-analysis. *Biomedical Signal Processing and Control, 18*, 370–377. https://doi.org/10.1016/j.bspc.2015.02.012

Chaudhuri, S., Muhonen, H., Pakarinen, E., & Lerkkanen, M.-K. (2022). Teachers' visual focus of attention in relation to students' basic academic skills and teachers' individual support for students: An eye-tracking study. *Learning and Individual Differences, 98*, 102179. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2022.102179

Chouvalova, A., Navlekar, A. S., Mills, D. J., Adams, M., Daye, S., De Anda, F., & Limeri, L. B. (2024). Undergraduates' reactions to errors mediates the association between growth mindset and study strategies. *International Journal of STEM Education, 11*(1), 26. https://doi.org/10.1186/s40594-024-00485-4

Christoforou, C., Christou-Champi, S., Constantinidou, F., & Theodorou, M. (2015). From the eyes and the heart: A novel eye-gaze metric that predicts video preferences of a large audience. *Frontiers in Psychology, 6*, 579. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00579

Ciuk, D., Troy, A., & Jones, M. (2015). Measuring emotion: Self-reports vs. physiological indicators. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.2595359

Costa, A., & Faria, L. (2018). Implicit theories of intelligence and academic achievement: A meta-analytic review. *Frontiers in Psychology, 9*, 829. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00829

Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika, 16*(3), 297–334. https://doi.org/10.1007/BF02310555

Cutumisu, M., Turgeon, K.-L., Saiyera, T., Chuong, S., González Esparza, L. M., MacDonald, R., & Kokhan, V. (2019). Eye tracking the feedback assigned to undergraduate students in a digital assessment game. *Frontiers in Psychology, 10*, 1931. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01931

Da Fonseca, D., Schiano-Lomoriello, S., Cury, F., Poinso, F., Rufo, M., & Therme, P. (2007). Validité factorielle d'un questionnaire mesurant les théories implicites de l'intelligence (TIDI). *L'Encéphale, 33*(4, Part 1), 579–584. https://doi.org/10.1016/S0013-7006(07)92056-4

Darnon, C., Harackiewicz, J. M., Butera, F., Mugny, G., & Quiamzade, A. (2007). Performance-approach and performance-avoidance goals: When uncertainty makes a difference. *Personality and Social Psychology Bulletin, 33*(6), 813–827. https://doi.org/10.1177/0146167207301022

De Castella, K., & Byrne, D. (2015). My intelligence may be more malleable than yours: The revised implicit theories of intelligence (self-theory) scale is a better predictor of achievement, motivation, and student disengagement. *European Journal of Psychology of Education, 30*(3), 245–267. https://doi.org/10.1007/s10212-015-0244-y

Diedrich, A., Hofmann, S. G., Cuijpers, P., & Berking, M. (2016). Self-compassion enhances the efficacy of explicit cognitive reappraisal as an emotion regulation strategy in individuals with major depressive disorder. *Behaviour Research and Therapy, 82*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.brat.2016.04.003

Dresel, M., Schober, B., Ziegler, A., Grassinger, R., & Steuer, G. (2013). Affektiv-motivational adaptive und handlungsadaptive Reaktionen auf Fehler im Lernprozess. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 27*(4), 255–271. https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000111

Duchowski, A. T. (2017). *Eye tracking methodology: Theory and practice* (3rd ed.). Springer.

Dupeyrat, C., & Mariné, C. (2005). Implicit theories of intelligence, goal orientation, cognitive engagement, and achievement: A test of Dweck's model with returning to school adults. *Contemporary Educational Psychology, 30*(1), 43–59. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2004.01.007

Dweck, C. S. (2006). *Mindset: The new psychology of success* (pp. x, 276). Random House.

Dweck, C. S., & Leggett, E. L. (1988). A social-cognitive approach to motivation and personality. *Psychological Review, 95*(2), 256–273. https://doi.org/10.1037/0033-295X.95.2.256

Dweck, C. S., & Yeager, D. S. (2019). Mindsets: A view from two eras. *Perspectives on Psychological Science, 14*(3), 481–496. https://doi.org/10.1177/1745691618804166

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

Eskreis-Winkler, L., & Fishbach, A. (2022). You think failure is hard? So is learning from it. *Perspectives on Psychological Science, 17*(2), 17456916211059817. https://doi.org/10.1177/17456916211059817

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods, 39*(2), 175–191. https://doi.org/10.3758/BF03193146

Freng, S. (2020). Development of the Motivation to Participate in Psychological Research Scale. *Journal of Individual Differences, 41*(3), 160–174. https://doi.org/10.1027/1614-0001/a000317

Gläser-Zikuda, M. (2012). Affective and emotional dispositions of/for learning. In N. M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the sciences of learning* (pp. 165–169). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_819

Goode, N., & Rey, D. (2022). Enhancing disaster resilience through improved risk assessments: A systematic review. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 67*, 102662. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102662

Gooding, J., & Metz, B. (2011). From misconceptions to conceptual change. *The Science Teacher*, *78*(4), 34.

Grassinger, R., & Dresel, M. (2017). Who learns from errors on a class test? Antecedents and profiles of adaptive reactions to errors in a failure situation. *Learning and Individual Differences, 53*, 61–68. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.11.009

Grassinger, R., & Dresel, M. (2017). Self-control and academic achievement: The mediating role of motivation regulation. *Learning and Individual Differences, 56*, 20–26. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2017.05.002

Grimaldi, P. J., & Karpicke, J. D. (2012). When and why do retrieval attempts enhance subsequent encoding? *Memory & Cognition, 40*(4), 505–513. https://doi.org/10.3758/s13421-011-0174-0

Gross, J. J. (2015). Emotion regulation: Current status and future prospects. *Psychological Inquiry, 26*(1), 1–26. https://doi.org/10.1080/1047840X.2014.940781

Grossman, P. (1992). The breath's vital role in mind-body medicine. *Alternative Therapies in Health and Medicine, 4*(6), 42–57.

Guo, J., Hu, X., Elliot, A. J., Marsh, H. W., Murayama, K., Basarkod, G., Parker, P. D., & Dicke, T. (2023). Mastery-approach goals: A large-scale cross-cultural analysis of antecedents and consequences. *Journal of Personality and Social Psychology, 125*(2), 397–420. https://doi.org/10.1037/pspp0000436

Haji-Abolhassani, A., & Clark, J. (2013). A computational model for task inference in visual search. *Journal of Vision, 13*(3), Article 29. https://doi.org/10.1167/13.3.29

Hilgarter, K., Schmid-Zalaudek, K., Csanády-Leitner, R., Mörtl, M., Rössler, A., & Lackner, H. K. (2021). Phasic heart rate variability and the association with cognitive performance: A cross-sectional study in a healthy population setting. *PLoS ONE, 16*(3), Article e0246968. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246968

Holmqvist, K., & Andersson, R. (2017). *Eye-tracking: A comprehensive guide to methods, paradigms and measures*. Lund Eye-Tracking Research Institute.

Houtveen, J. H., Rietveld, S., & de Geus, E. J. (2002). Contribution of tonic vagal modulation of heart rate, central respiratory drive, respiratory depth, and respiratory frequency to respiratory sinus arrhythmia during mental stress and physical exercise. *Psychophysiology, 39*(4), 427–436. https://doi.org/10.1017/S0048577201393163

Huelser, B. J., & Metcalfe, J. (2012). Making related errors facilitates learning, but learners do not know it. *Memory & Cognition, 40*(4), 514–527. https://doi.org/10.3758/s13421-011-0167-z

Kim, H. J., Park, Y., & Lee, J. (2024). The Validity of Heart Rate Variability (HRV) in Educational Research and a Synthesis of Recommendations. *Educational Psychology Review, 36*(2), 1–31. https://doi.org/10.1007/s10648-024-09878-x

Kim, J., Foo, J. C., Murata, T., & Togo, F. (2024). Reduced heart rate variability is related to fluctuations in psychological stress levels in daily life. *Stress and Health, 40*(5), e3447. https://doi.org/10.1002/smi.3447

Korb, S., & Delplanque, S. (2013). Chapitre 8. Électromyographie (EMG). In *Électrophysiologie de la cognition* (pp. 179-194). Dunod.

Kornell, N., Klein, P. J., & Rawson, K. A. (2015). Retrieval attempts enhance learning, but retrieval success (versus failure) does not matter. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition, 41*(1), 283–294. https://doi.org/10.1037/a0037850

Laborde, S., Mosley, E., & Thayer, J. F. (2017). Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research–Recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Frontiers in Psychology, 8*, 213. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213

Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal, and coping*. Springer.

Lazarus, R. S. (1991). *Emotion and adaptation*. Oxford University Press.

Leary, M. R., Tate, E. B., Adams, C. E., Allen, A. B., & Hancock, J. (2007). Self-compassion and reactions to unpleasant self-relevant events: The implications of treating oneself kindly. *Journal of Personality and Social Psychology, 92*(5), 887–904. https://doi.org/10.1037/0022-3514.92.5.887

Léger, L. (2016). *L'attention*. Dunod. https://doi.org/10.3917/dunod.leger.2016.01

Leibnitz, L., Ducrot, S., Muneaux, M., & Grainger, J. (2015). Spécificité des capacités visuo-attentionnelles et lecture chez l'enfant. *Revue Francophone d'Orthoptie, 8*(1), 45–49. https://doi.org/10.1016/j.rfo.2015.02.011

Leonard, B., Stocco, A., & Hake, H. S. (2023). Errors are the stepping stones to learning: Trial-by-trial modeling reveals overwhelming evidence for mediator retrievals of previous errors in memory consolidation. *OSF Preprints*. https://doi.org/10.31234/osf.io/9qgcs

Liu, P., Wang, Y., Hu, J., Qing, L., & Zhao, K. (2023). Development and validation of a highly dynamic and reusable picture-based scale: A new affective measurement tool. *Frontiers in Psychology, 13*, Article 1078691. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1078691

Liu, W. C. (2021). Implicit theories of intelligence and achievement goals: A look at students' intrinsic motivation and achievement in mathematics. *Frontiers in Psychology, 12*, Article 593715. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.593715

Liversedge, S. P., & Findlay, J. M. (2000). Saccadic eye movements and cognition. *Trends in Cognitive Sciences, 4*(1), 6–14. https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01418-7

Loibl, K., & Rummel, N. (2014). Knowing what you don't know makes failure productive. *Learning and Instruction, 34*, 74–85. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2014.08.004

Lu, X., Li, Q., & Wang, X. (2021). Research on the impacts of feedback in instructional videos on college students' attention and learning effects. In *2021 IEEE 24th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)* (pp. 513–516). IEEE. https://doi.org/10.1109/CSCWD49262.2021.9437774

Macnamara, B. N., & Burgoyne, A. P. (2023). Do growth mindset interventions impact students' academic achievement? A systematic review and meta-analysis with recommendations for best practices. *Psychological Bulletin, 149*(3–4), 133–173. https://doi.org/10.1037/bul0000352

Mancas, M., & Ferrera, V. P. (2016). How to measure attention? In *From human attention to computational attention* (pp. 21–38). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3435-5_3

Mangels, J. A., Butterfield, B., Lamb, J., Good, C., & Dweck, C. S. (2006). Why do beliefs about intelligence influence learning success? A social cognitive neuroscience model. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 1*(2), 75–86. https://doi.org/10.1093/scan/nsl013

Mark, J. A., Curtin, A., Kraft, A. E., Ziegler, M. D., & Ayaz, H. (2024). Mental workload assessment by monitoring brain, heart, and eye with six biomedical modalities during six cognitive tasks. *Frontiers in Neuroergonomics, 5*, Article 1345507. https://doi.org/10.3389/fnrgo.2024.1345507

Marley, S. C., & Wilcox, M. J. (2022). Implicit theories of intelligence and achievement goal orientations: How are they associated with college student academic achievement? *Social Education Research, 3*(2), 279–298. https://doi.org/10.37256/ser.3220221625

Mauss, I. B., & Robinson, M. D. (2009). Measures of emotion: A review. *Cognition and Emotion, 23*(2), 209–237. https://doi.org/10.1080/02699930802204677

Mauss, I. B., Levenson, R. W., McCarter, L., Wilhelm, F. H., & Gross, J. J. (2005). The Tie That Binds? Coherence Among Emotion Experience, Behavior, and Physiology. *Emotion, 5*(2), 175–190. https://doi.org/10.1037/1528-3542.5.2.175

McCraty, R., & Childre, D. (2010). Coherence: bridging personal, social, and global health. *Alternative Therapies in Health and Medicine*, *16*(4), 10-24.

McDonald, R. P. (1985). *Factor analysis and related methods*. Erlbaum.

Mera, Y., Rodríguez, G., & Marin-Garcia, E. (2022). Unraveling the benefits of experiencing errors during learning: Definition, modulating factors, and explanatory theories. *Psychonomic Bulletin & Review, 29*(3), 753–765. https://doi.org/10.3758/s13423-021-02022-8

Mertens, U., Finn, B., & Lindner, M. A. (2022). Effects of computer-based feedback on lower- and higher-order learning outcomes: A network meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, *114*(8), 1743.

Metcalfe, J. (2017). Learning from Errors. *Annual Review of Psychology*, *68*(1), 465–489. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010416-044022

Ministère de l'Éducation Nationale. (n.d.). *21 mesures pour l'enseignement des mathématiques*. https://www.education.gouv.fr/21-mesures-pour-l-enseignement-des-mathematiques-3242

Mohammadpoor Faskhodi, M., Fernández-Chimeno, M., & García-González, M. A. (2023). Arousal detection by using ultra-short-term heart rate variability (HRV) analysis. *Frontiers in Medical Engineering, 1*, Article 1209252. https://doi.org/10.3389/fmede.2023.1209252

Molden, D. C., & Dweck, C. S. (2006). Finding "meaning" in psychology: A lay theories approach to self-regulation, social perception, and social development. *American Psychologist, 61*(3), 192–203. https://doi.org/10.1037/0003-066X.61.3.192

Moser, J. S., Schroder, H. S., Heeter, C., Moran, T. P., & Lee, Y.-H. (2011). Mind your errors: Evidence for a neural mechanism linking growth mind-set to adaptive posterror adjustments. *Psychological Science, 22*(12), 1484–1489. https://doi.org/10.1177/0956797611419520

Neff, K. D. (2003). Self-Compassion: An Alternative Conceptualization of a Healthy Attitude Toward Oneself. *Self and Identity*, *2*(2), 85–101. https://doi.org/10.1080/15298860309032

Neff, K. (2021). *Fierce self-compassion: How women can harness kindness to speak up, claim their power, and thrive*. Penguin UK.

Neff, K. D. (2023). Self-compassion: Theory, method, research, and intervention. *Annual Review of Psychology, 74*, 193–218. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-032420-031047

Oser, F., & Spychiger, M. (2005). Learning from errors: A model of negative knowledge and the development of expertise. In N. J. Smelser & P. B. Baltes (Eds.), *International encyclopedia of the social & behavioral sciences* (pp. 8602–8605). Elsevier.

Paunesku, D., Walton, G. M., Romero, C., Smith, E. N., Yeager, D. S., & Dweck, C. S. (2015). Mind-set interventions are a scalable treatment for academic underachievement. *Psychological Science, 26*(6), 784–793. https://doi.org/10.1177/0956797615571017

Pekrun, R. (2006). The Control-Value Theory of Achievement Emotions: Assumptions, Corollaries, and Implications for Educational Research and Practice. *Educational Psychology Review, 18*(4), 315–341. https://doi.org/10.1007/s10648-006-9029-9

Pellissier, S. (2013). Chapitre 7. Variabilité du rythme cardiaque. In *Électrophysiologie de la cognition* (pp. 157–177). Dunod. https://doi.org/10.3917/dunod.hot.2013.01.0157

Porges, S. W. (2001). The polyvagal theory: phylogenetic substrates of a social nervous system. *International journal of psychophysiology*, *42*(2), 123-146.

Porges, S. W. (2007). The polyvagal perspective. *Biological psychology*, *74*(2), 116-143.

Potts, R., & Shanks, D. R. (2014). The benefit of generating errors during learning. *Journal of Experimental Psychology: General, 143*(2), 644–667. https://doi.org/10.1037/a0033194

Potts, R., Davies, G., & Shanks, D. R. (2019). The benefit of generating errors during learning: What is the locus of the effect? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 45*(6), 1023–1041. https://doi.org/10.1037/xlm0000637

Puusepp, I., Linnavalli, T., Huuskonen, M., Kukkonen, K., Huotilainen, M., Kujala, T., Laine, S., Kuusisto, E., & Tirri, K. (2021). Mindsets and neural mechanisms of automatic reactions to negative feedback in mathematics in elementary school students. *Frontiers in Psychology, 12*, Article 635972. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.635972

Quintana, D. S., & Heathers, J. A. (2014). Considerations in the assessment of heart rate variability in biobehavioral research. *Frontiers in psychology*, *5*, 805.

Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin, 124*(3), 372–422. https://doi.org/10.1037/0033-2909.124.3.372

Richard, F. D., Bond Jr., C. F., & Stokes-Zoota, J. J. (2003). One Hundred Years of Social Psychology Quantitatively Described. *Review of General Psychology, 7*(4), 331–363. https://doi.org/10.1037/1089-2680.7.4.331

Richland, L. E., Kornell, N., & Kao, L. S. (2009). The pretesting effect: Do unsuccessful retrieval attempts enhance learning? *Journal of Experimental Psychology: Applied, 15*(3), 243–257. https://doi.org/10.1037/a0016496

Rigaud, K., Török, L., Amoura, C., Carton, A., Salamon, J., & Orosz, G. (2025). Changer pour apprendre: L'état d'esprit de développement comme levier de transformation éducative. *Psychologie Française*. https://doi.org/10.1016/j.psfr.2025.01.001

Rouch, E., Hodgson, R., & Sanders, E. (2022). Implicit Mindsets of Intelligence, Achievement Goals, Self-Handicapping, and Confidence. *Journal of Student Research, 11*(4). https://doi.org/10.47611/jsrhs.v11i4.3135

Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of personality and social psychology*, *39*(6), 1161.

Sander, E., Gros, H., Gvozdic, K., & Scheibling-Seve, C. (2018). Chapitre 6. Se tromper, c'est échouer. *Mythes et réalités*, 95–109.

Sayed, F., McGowan, A. L., Jovanova, M., Cosme, D., Kang, Y., Stanoi, O., Mucha, P. J., Ochsner, K. N., Bassett, D. S., Falk, E. B., & Lydon-Staley, D. M. (2022). Momentary associations between affect and alcohol use in the daily lives of college students. *PsyArXiv*. https://doi.org/10.31234/osf.io/a7cgu

Senko, C. (2016). Achievement goal theory: A story of early promises, eventual discords, and future possibilities. *Educational Psychologist*, *51*(3–4), 131–142. https://doi.org/10.1080/00461520.2016.1208569

Scherer, K. R. (1984). Les émotions: fonctions et composantes. *Cahiers De Psychologie Cognitive/Current Psychology Of Cognition*.

Schroder, H. S., Fisher, M. E., Lin, Y., Lo, S. L., Danovitch, J. H., & Moser, J. S. (2017). Neural evidence for enhanced attention to mistakes among school-aged children with a growth mindset. *Developmental Cognitive Neuroscience, 24*, 42–50. https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.01.004

Shaffer, F., McCraty, R., & Zerr, C. L. (2014). A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in psychology*, *5*, 1040.

Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in public health*, *5*, 258.

Shute, V. J. (2008). Focus on formative feedback. *Review of Educational Research, 78*(1), 153–189. https://doi.org/10.3102/0034654307313795

Simpson, A., Maltese, A. V., Anderson, A., & Sung, E. (2020). Failures, errors, and mistakes: A systematic review of the literature. *Mistakes, errors and failures across cultures: Navigating potentials*, 347-362.

Sisk, V. F., Burgoyne, A. P., Sun, J., Butler, J. L., & Macnamara, B. N. (2018). To What Extent and Under Which Circumstances Are Growth Mind-Sets Important to Academic Achievement? Two Meta-Analyses. *Psychological Science, 29*(4), 549–571. https://doi.org/10.1177/0956797617739704

Soncini, A., Visintin, E. P., Matteucci, M. C., Tomasetto, C., & Butera, F. (2022). Positive error climate promotes learning outcomes through students' adaptive reactions towards errors. *Learning and Instruction*, *80*, 101627. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2022.101627

Steuer, G., & Dresel, M. (2015). A constructive error climate as an element of effective learning environments. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 31(1), 14–25. https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000137

Tao, W., Zhao, D., Yue, H., Horton, I., Tian, X., Xu, Z., & Sun, H.-J. (2022). The Influence of Growth Mindset on the Mental Health and Life Events of College Students. Frontiers in Psychology, 13. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.821206

Treviño, M., Zhu, X., Lu, Y. Y., Scheuer, L. S., Passell, E., Huang, G. C., Germine, L. T., & Horowitz, T. S. (2021). How do we measure attention? Using factor analysis to establish construct validity of neuropsychological tests. *Cognitive Research: Principles and Implications, 6*(1), 51. https://doi.org/10.1186/s41235-021-00313-1

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. https://doi.org/10.1080/01443410.2011.608524

Tulis, M., Steuer, G., & Dresel, M. (2016). Learning from errors: A model of individual processes. *Frontline Learning Research, 4*(4), 12–26. https://doi.org/10.14786/flr.v4i2.168

Tulis, M., Steuer, G., & Dresel, M. (2018). Positive beliefs about errors as an important element of adaptive individual dealing with errors during academic learning. *Educational Psychology, 38*(2), 139–158. https://doi.org/10.1080/01443410.2017.1384536

Vanderhasselt, M.-A., Remue, J., Ng, K. K., Mueller, S. C., & De Raedt, R. (2015). The regulation of positive and negative social feedback: A psychophysiological study.

Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 15(3), 553–563. https://doi.org/10.3758/s13415-015-0345-8

VanLehn, K. (1988). Toward a theory of impasse-driven learning. In *Learning issues for intelligent tutoring systems* (pp. 19-41). New York, NY: Springer US.

Vermetten, Y. J., Lodewijks, H. G., & Vermunt, J. D. (2001). The role of personality traits and goal orientations in strategy use. *Contemporary Educational Psychology, 26*(2), 149–170. https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1042

Wang, C., LaPointe, M. R. P., Venkateshan, S., Zhao, G., Tao, W., Sun, H.-J., & Milliken, B. (2023). Item-specific control of attention capture: An eye movement study. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 76*(1), 117–132. https://doi.org/10.1177/17470218221085110

Watson, D., Clark, L. A., & Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: the PANAS scales. *Journal of personality and social psychology*, *54*(6), 1063.

Xu, H., & Plataniotis, K. N. (2012). Affect recognition using EEG signal. *2012 IEEE 14th International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP)*, 299–304. https://doi.org/10.1109/MMSP.2012.6343458

Yarbus, A. L., & Yarbus, A. L. (1967). Eye movements during perception of complex objects. *Eye movements and vision*, 171-211.

Yeager, D. S., & Dweck, C. S. (2020). What can be learned from growth mindset controversies? *American Psychologist, 75*(9), 1269–1284. https://doi.org/10.1037/amp0000794

Yeager, D. S., Hanselman, P., Walton, G. M., Murray, J. S., Crosnoe, R., Muller, C., Tipton, E., Schneider, B., Hulleman, C. S., Hinojosa, C. P., Paunesku, D., Romero, C., Flint, K., Roberts, A., Trott, J., Iachan, R., Buontempo, J., Yang, S. M., Carvalho, C. M., … Dweck, C. S. (2019). A national experiment reveals where a growth mindset improves achievement. *Nature, 573*(7774), Article 7774. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1466-y

Yeager, D. S., Walton, G. M., Brady, S. T., Akcinar, E. N., Paunesku, D., Keane, L., Kamentz, D., Ritter, G., Duckworth, A. L., Urstein, R., Gomez, E. M., Markus, H. R., Cohen, G. L., & Dweck, C. S. (2016). Teaching a lay theory before college narrows achievement

gaps at scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 113*(24), E3341–E3348. https://doi.org/10.1073/pnas.1524360113

Yu, J., & McLellan, R. (2020). Same mindset, different goals and motivational frameworks: Profiles of mindset-based meaning systems. *Contemporary Educational Psychology, 62*, 101901. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101901

Zhang, Q., & Fiorella, L. (2023). An integrated model of learning from errors. *Educational Psychologist, 58*(1), 18–34. https://doi.org/10.1080/00461520.2022.2149525

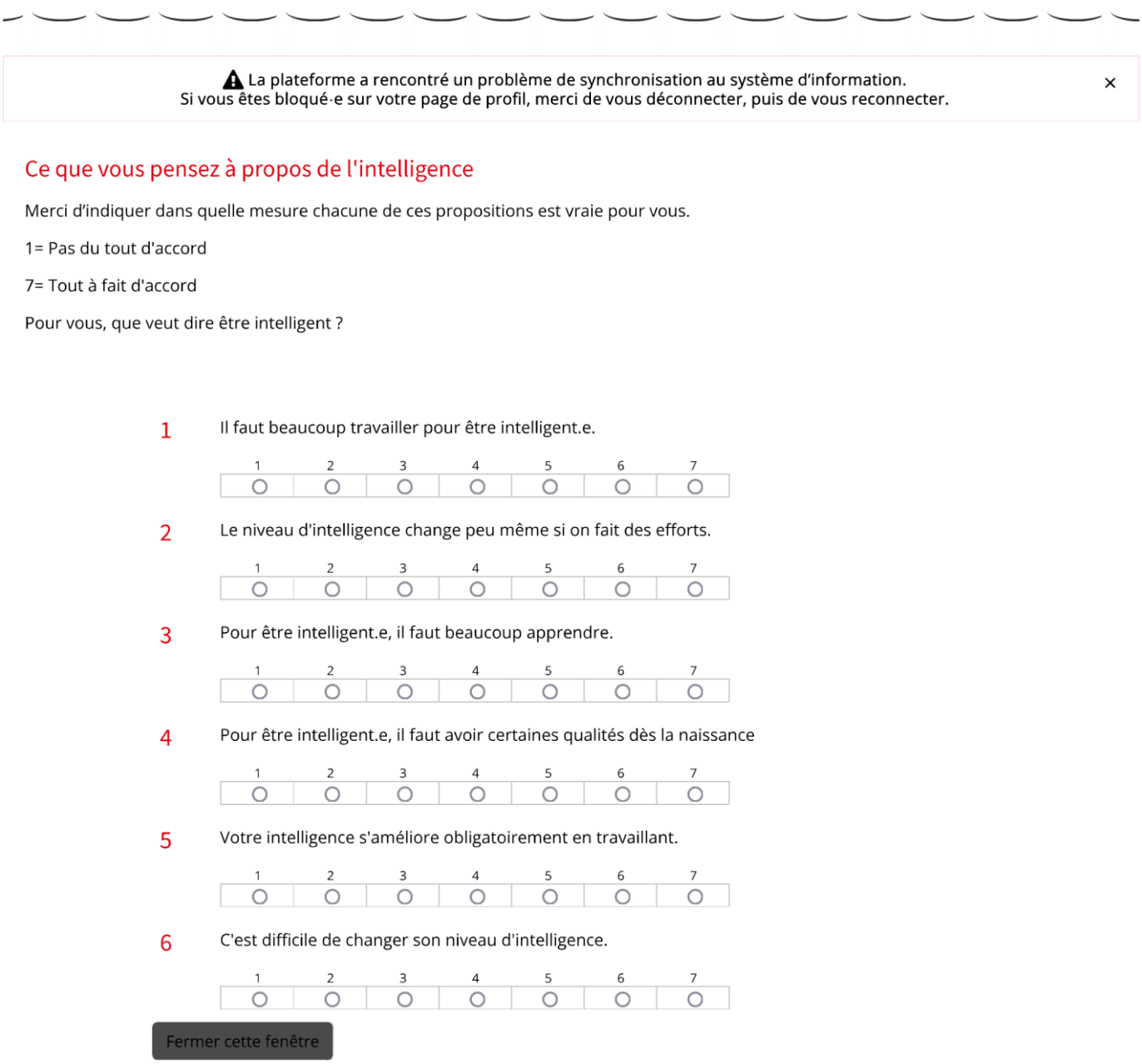
Zhao, B., & Olivera, F. (2006). Error reporting in organizations. *Academy of Management Review*, *31*(4), 1012-1030.

Zhao, S., Yu, C., Jin, L., & Lin, D. (2023). Helping students to face academic failures: Evaluation of a growth mindset intervention among primary school students in China. *Applied Psychology: Health and Well-Being, 16*. https://doi.org/10.1111/aphw.12496

ANNEXES

1. Annexe A : Matériel de l'étude 1

A.1. Questionnaire Intelligence en général (Da Fonseca et al., 2004)



⚠ La plateforme a rencontré un problème de synchronisation au système d'information.
Si vous êtes bloqué·e sur votre page de profil, merci de vous déconnecter, puis de vous reconnecter. ×

Ce que vous pensez à propos de l'intelligence

Merci d'indiquer dans quelle mesure chacune de ces propositions est vraie pour vous.

1= Pas du tout d'accord

7= Tout à fait d'accord

Pour vous, que veut dire être intelligent ?

1 Il faut beaucoup travailler pour être intelligent.e.

1 2 3 4 5 6 7

2 Le niveau d'intelligence change peu même si on fait des efforts.

1 2 3 4 5 6 7

3 Pour être intelligent.e, il faut beaucoup apprendre.

1 2 3 4 5 6 7

4 Pour être intelligent.e, il faut avoir certaines qualités dès la naissance

1 2 3 4 5 6 7

5 Votre intelligence s'améliore obligatoirement en travaillant.

1 2 3 4 5 6 7

6 C'est difficile de changer son niveau d'intelligence.

1 2 3 4 5 6 7

Fermer cette fenêtre

A.2. Questionnaire buts d'accomplissement

⚠ La plateforme a rencontré un problème de synchronisation au système d'information.
Si vous êtes bloqué·e sur votre page de profil, merci de vous déconnecter, puis de vous reconnecter. ×

Vos objectifs

Pensez à un cours qui est important pour vous.

Merci d'indiquer dans quelle mesure chacune de ces propositions est vraie pour vous

1 = Pas du tout vrai pour moi

7 = Très vrai pour moi

1 Il est important pour moi de mieux réussir que les autres étudiant.e.s.

1	2	3	4	5	6	7
○	○	○	○	○	○	○

2 Je m'inquiète de ne pas apprendre autant que je le pourrais dans ce cours.

1	2	3	4	5	6	7
○	○	○	○	○	○	○

3 Je veux apprendre autant que possible de ce cours.

1	2	3	4	5	6	7
○	○	○	○	○	○	○

4 Je veux seulement éviter d'échouer dans ce cours.

1	2	3	4	5	6	7
○	○	○	○	○	○	○

5 Il est important pour moi de bien réussir comparativement aux autres dans ce cours.

1	2	3	4	5	6	7
○	○	○	○	○	○	○

6 Parfois j'ai peur de ne pas comprendre le contenu de ce cours de manière aussi approfondie que je le souhaiterais.

1	2	3	4	5	6	7
○	○	○	○	○	○	○

7 C'est important pour moi de comprendre le contenu de ce cours de façon aussi approfondie que possible.

1	2	3	4	5	6	7
○	○	○	○	○	○	○

8 Mon but dans ce cours est d'éviter de mal réussir.

1	2	3	4	5	6	7
○	○	○	○	○	○	○

9 Mon but dans ce cours est d'avoir de meilleures notes que la plupart des étudiant.e.s.

1	2	3	4	5	6	7
○	○	○	○	○	○	○

10 Je suis parfois soucieux.se du fait que je pourrais ne pas apprendre tout ce qu'il y a à apprendre dans ce cours.

1	2	3	4	5	6	7
○	○	○	○	○	○	○

11 Je désire maîtriser complètement le contenu de ce cours.

1	2	3	4	5	6	7
○	○	○	○	○	○	○

12 Ma peur d'échouer dans ce cours est souvent ce qui me motive.

1	2	3	4	5	6	7
○	○	○	○	○	○	○

2. Annexe B : Matériel de l'étude 2

B.1. Lettre de consentement expérience 1

Nom du projet de recherche	Les mindsets sous la loupe des mesures oculaires et physiologiques
Chercheur titulaire responsable scientifique du projet	Laure Léger Chorki
Investigateur principal	Mariyem Ahmida
Appartenance institutionnelle	Université Paris Nanterre, Laboratoire LINP2 200 avenue de la République, 92001 NANTERRE CEDEX
Contact	a.mariyem@parisnanterre.fr

Madame, Monsieur,

La note d'information qui vous est remise a pour but de vous informer sur la nature de la recherche et sur la participation demandée aux personnes qui accepteront d'y participer.

N'hésitez jamais à demander plus de détails ou de renseignements. Veuillez prendre le temps de lire soigneusement ce qui suit et de bien comprendre toutes les informations.

L'objectif de cette étude :

L'objectif de cette recherche est d'étudier comment les informations délivrées lors d'une séquence d'apprentissage sont traitées et prises en considération par l'apprenant. Pour cela il vous sera demandé de visualiser une vidéo et de répondre à plusieurs questions sur son contenu. Pendant que vous visualiserez la vidéo vos mouvements oculaires, votre rythme cardiaque ainsi que votre conductance électrodermale seront enregistrés. Il vous sera également demandé de répondre à plusieurs autres questionnaires pour qualifier votre état mental du moment présent.

Durée de l'expérience :

L'expérience durera 1h30.

L'enregistrement de vos mouvements oculaires :

Pour pouvoir enregistrer vos mouvements oculaires, nous utilisons un oculomètre sous forme d'une barre. Cet appareil reflète la lumière infrarouge de la pupille et de la cornée de l'œil. La pupille et la cornée absorbent une petite quantité d'énergie de la lumière infrarouge, mais cette énergie représente moins que la quantité permise par les recommandations internationales (American Standards Institute : ANSI Z 136.1-1973). Il s'agit d'à peu près la même quantité de lumière que celle

que vous recevez lors d'une journée ensoleillée. Toutefois si un inconfort est ressenti, merci de bien vouloir en informer l'expérimentateur.

L'enregistrement de votre rythme cardiaque :

Pour enregistrer votre rythme cardiaque, nous utilisons un capteur attaché à deux électrodes. Les deux électrodes seront positionnées à droite et à gauche de votre sternum au niveau de la poitrine. Aucun courant électrique n'est envoyé dans votre corps.

L'enregistrement de votre conductance cutanée :

Pour enregistrer votre conductance cutanée, deux électrodes seront fixées à l'extrémité de deux doigts de votre main non dominante. Aucun courant électrique n'est envoyé dans votre corps.

Informations sur vos données :

L'accès à vos données personnelles est strictement limité aux chercheuses, tenues au secret professionnel. Les données recueillies seront traitées de manière globale et anonyme et seront conservées pendant une durée de 3 ans. Les résultats seront publiés de manière anonyme, et cela, et à minima dans le cadre d'un manuscrit de thèse. Les chercheuses se réservent également la possibilité de diffuser ces résultats toujours de manière anonyme dans la communauté scientifique (conférences, séminaires, articles scientifiques).

Conformément au Règlement Européen n°2016/679/UE du 27 avril 2016 (applicable dès le 25 mai 2018) et à la loi « informatique et libertés » du 6 janvier 1978 modifiée, vous bénéficiez d'un droit d'accès, de rectification, de portabilité et d'effacement de vos données ou encore de limitation du traitement. Vous pouvez également, pour des motifs légitimes, vous opposer au traitement des données vous concernant. Ces droits seront étudiés aux termes des dispositions légales en vigueur.

Vous êtes libre de refuser le traitement de vos données (personnelles et issues de l'étude). Ce retrait n'aura aucune conséquence sur la suite de vos études.

Pour toute information complémentaire sur la recherche, vous pouvez contacter Mariyem Ahmida dont les coordonnées sont indiquées en haut de ce document.

Pour exercer ces droits ou pour toute question sur le traitement de vos données dans ce dispositif, vous pouvez contacter notre DPO à dpo@liste.parisnanterre.fr

Si vous estimez, après nous avoir contactés, que vos droits Informatique et Libertés ne sont pas respectés, vous pouvez adresser une réclamation à la CNIL (commission nationale informatique et libertés www.cnil.fr).

Bénéfices de l'expérience :

Cette expérience vous permettra d'acquérir un total de 2,5 points dans le cadre de l'UE expérimentation.

Le simple fait de participer à cette expérience est suffisant pour valider vos points ; cette validation ne dépend pas de vos performances lors de l'expérience.

Risques possibles :

Il n'y a pas de risques majeurs à participer à cette expérience. Les outils utilisés pour mesurer vos mouvements oculaires, votre fréquence cardiaque et votre conductance électrodermale ne comporte aucun risque pour vous.

Le seul risque envisagé est lié à la fatigue due à la durée de l'expérience et à la position assise devant un écran d'ordinateur.

Votre consentement :

En signant le formulaire de consentement, vous certifiez :

- Que vous avez lu et compris les renseignements communiqués dans la notice d'information,
- Qu'on a répondu à vos questions de façon satisfaisante,

- Qu'on vous a informé que vous étiez libre de retirer votre consentement ou d'arrêter de participer à cette recherche en tout temps, sans préjudice.

A remplir par le participant – projet de recherche : Les mindsets sous la loupe des mesures oculaires et physiologiques

☐ J'ai lu et compris les renseignements fournis dans la fiche d'informations et j'accepte de plein gré de participer à cette recherche

☐ J'accepte que mes réponses aux questions posées soient exploitées par l'équipe du

projet Nom, Prénom : ……

Date : …… Signature :

Un exemplaire de ce document vous est remis, un autre exemplaire est conservé dans le dossier.

A remplir par le participant – projet de recherche : Les mindsets sous la loupe des mesures oculaires et physiologiques

☐ J'ai lu et compris les renseignements fournis dans la fiche d'informations et j'accepte de plein gré de participer à cette recherche

☐ J'accepte que mes réponses aux questions posées soient exploitées par l'équipe du

projet Nom, Prénom : ……

Date : …… Signature :

Exemplaire conservé par les chercheurs

B.2. Lettre de consentement expérience 2

Nom du projet de recherche	Les théories implicites sous la loupe des mesures physiologiques
Chercheur titulaire responsable scientifique du projet	Laure Léger Chorki
Investigateur principal	Mariyem Ahmida
Appartenance institutionnelle	Université Paris Nanterre, Laboratoire LINP2 200 avenue de la République, 92001 NANTERRE CEDEX
Contact	a.mariyem@parisnanterre.fr

Madame, Monsieur,

La note d'information qui vous est remise a pour but de vous informer sur la nature de la recherche et sur la participation demandée aux personnes qui accepteront d'y participer.

N'hésitez jamais à demander plus de détails ou de renseignements. Veuillez prendre le temps de lire soigneusement ce qui suit et de bien comprendre toutes les informations.

L'objectif de cette étude :

L'objectif de cette recherche est d'étudier comment les informations délivrées lors d'une séquence d'apprentissage sont traitées et prises en considération par l'apprenant. Pour cela il vous sera demandé de visualiser une vidéo et de répondre à plusieurs questions sur son contenu. Pendant que vous visualiserez la vidéo vos mouvements oculaires, votre rythme cardiaque ainsi que votre conductance électrodermale seront enregistrés. Il vous sera également demandé de répondre à plusieurs autres questionnaires pour qualifier votre état mental du moment présent.

Durée de l'expérience :

L’expérience durera 1h.

L’enregistrement de vos mouvements oculaires :

Pour pouvoir enregistrer vos mouvements oculaires, nous utilisons un oculomètre sous forme d’une barre. Cet appareil reflète la lumière infrarouge de la pupille et de la cornée de l’œil. La pupille et la cornée absorbent une petite quantité d’énergie de la lumière infrarouge, mais cette énergie représente moins que la quantité permise par les recommandations internationales (American Standards Institute : ANSI Z 136.1-1973). Il s’agit d’à peu près la même quantité de lumière que celle que vous recevez lors d’une journée ensoleillée. Toutefois si un inconfort est ressenti, merci de bien vouloir en informer l’expérimentateur.

L’enregistrement de votre rythme cardiaque :

Pour enregistrer votre rythme cardiaque, nous utilisons un capteur attaché à deux électrodes. Les deux électrodes seront positionnées à droite et à gauche de votre sternum au niveau de la poitrine. Aucun courant électrique n’est envoyé dans votre corps.

L’enregistrement de votre conductance cutanée :

Pour enregistrer votre conductance cutanée, deux électrodes seront fixées à l’extrémité de deux doigts de votre main non dominante. Aucun courant électrique n’est envoyé dans votre corps.

Informations sur vos données :

L’accès à vos données personnelles est strictement limité aux chercheuses, tenues au secret professionnel. Les données recueillies seront traitées de manière globale et anonyme et seront conservées pendant une durée de 3 ans. Les résultats seront publiés de manière anonyme, et cela, et à minima dans le cadre d’un manuscrit de thèse. Les chercheuses se réservent également la possibilité de diffuser ces résultats toujours de manière anonyme dans la communauté scientifique (conférences, séminaires, articles scientifiques).

Conformément au Règlement Européen n°2016/679/UE du 27 avril 2016 (applicable dès le 25 mai 2018) et à la loi « informatique et libertés » du 6 janvier 1978 modifiée, vous bénéficiez d’un droit d’accès, de rectification, de portabilité et d’effacement de vos données ou encore de limitation du traitement. Vous pouvez également, pour

des motifs légitimes, vous opposer au traitement des données vous concernant. Ces droits seront étudiés aux termes des dispositions légales en vigueur.

Vous êtes libre de refuser le traitement de vos données (personnelles et issues de l'étude). Ce retrait n'aura aucune conséquence sur la suite de vos études.

Pour toute information complémentaire sur la recherche, vous pouvez contacter Mariyem Ahmida dont les coordonnées sont indiquées en haut de ce document.

Pour exercer ces droits ou pour toute question sur le traitement de vos données dans ce dispositif, vous pouvez contacter notre DPO à dpo@liste.parisnanterre.fr

Si vous estimez, après nous avoir contactés, que vos droits Informatique et Libertés ne sont pas respectés, vous pouvez adresser une réclamation à la CNIL (commission nationale informatique et libertés www.cnil.fr).

Bénéfices de l'expérience :

Cette expérience vous permettra d'acquérir un total de 2 points dans le cadre de l'UE expérimentation.

Le simple fait de participer à cette expérience est suffisant pour valider vos points ; cette validation ne dépend pas de vos performances lors de l'expérience.

Risques possibles :

Il n'y a pas de risques majeurs à participer à cette expérience. Les outils utilisés pour mesurer vos mouvements oculaires, votre fréquence cardiaque et votre conductance électrodermale ne comporte aucun risque pour vous.

Le seul risque envisagé est lié à la fatigue due à la durée de l'expérience et à la position assise devant un écran d'ordinateur.

Votre consentement :

En signant le formulaire de consentement, vous certifiez :

- Que vous avez lu et compris les renseignements communiqués dans la notice d'information,
- Qu'on a répondu à vos questions de façon satisfaisante,
- Qu'on vous a informé que vous étiez libre de retirer votre consentement ou d'arrêter de participer à cette recherche en tout temps, sans préjudice.

☐ J'ai lu et compris les renseignements fournis dans la fiche d'informations et j'accepte de plein gré de participer à cette recherche

☐ J'accepte que mes réponses aux questions posées soient exploitées par l'équipe du projet

Nom, Prénom : ……

Date : …… Signature :

Un exemplaire de ce document vous est remis, un autre exemplaire est conservé dans le dossier.

A remplir par le participant – projet de recherche : Les théories implicites sous la loupe des mesures physiologiques

☐ J'ai lu et compris les renseignements fournis dans la fiche d'informations et j'accepte de plein gré de participer à cette recherche

☐ J'accepte que mes réponses aux questions posées soient exploitées par l'équipe du projet

Nom, Prénom : ……

Date : …… Signature :

B.3. Échelle intérêt thématique

Vous trouverez ci-dessous un certain nombre d'énoncés vis à vis de la thématique de **xxxx** Lisez chaque énoncé, puis en encerclant le chiffre approprié à droite de l'énoncé, indiquez à quel point vous êtes d'accord avec les énoncés. Pour ce faire, vous devez utiliser le choix de réponses suivant :

Très peu en accord	Très peu en accord	Un peu en accord	Moyennement en accord	Assez en accord	Fortement en accord	Très fortement en accord
1	2	3	4	5	6	7

Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses.

1. Ma façon de percevoir les choses est influencée par ce thème.	1	2	3	4	5	6	7
2. Je suis en général heureux d'en apprendre davantage sur ce thème.	1	2	3	4	5	6	7
3. Je suis en général excité à l'idée de pouvoir me plonger dans ce thème.	1	2	3	4	5	6	7
4. J'aime ce thème.	1	2	3	4	5	6	7

B.4. Échelle STAI

Vous trouverez ci-dessous une liste d'énoncés que les gens ont déjà utilisés pour se décrire. Lisez chaque énoncé, puis entourez le chiffre à droite de l'énoncé qui décrit le mieux comment vous vous sentez **en ce moment**. Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses. Ne passez pas trop de temps sur un énoncé, mais marquez la réponse qui vous semble la plus appropriée.

N°	**Énoncé**	**Pas du tout (1)**	**Un peu (2)**	**Modérément (3)**	**Beaucoup (4)**
1	Je me sens calme.	1	2	3	4
2	Je me sens en sécurité.	1	2	3	4
3	Je suis tendu(e).	1	2	3	4
4	Je me sens surmené(e).	1	2	3	4
5	Je me sens tranquille.	1	2	3	4
6	Je me sens bouleversé(e).	1	2	3	4
7	Je suis préoccupé(e) actuellement par des malheurs possibles.	1	2	3	4
8	Je me sens comblé(e).	1	2	3	4
9	Je me sens effrayé(e).	1	2	3	4
10	Je me sens à l'aise.	1	2	3	4

N°	Énoncé	Pas du tout (1)	Un peu (2)	Modérément (3)	Beaucoup (4)
11	Je me sens sûr(e) de moi.	1	2	3	4
12	Je me sens nerveux(se).	1	2	3	4
13	Je suis affolé(e).	1	2	3	4
14	Je me sens indécis(e).	1	2	3	4
15	Je suis détendu(e).	1	2	3	4
16	Je me sens satisfait(e).	1	2	3	4
17	Je suis préoccupé(e).	1	2	3	4
18	Je me sens tout mêlé(e).	1	2	3	4
19	Je sens que j'ai les nerfs solides.	1	2	3	4
20	Je me sens bien.	1	2	3	4

B.3. Vidéos

Les vidéos sont accessibles via le lien ci-dessous :

videos

B.4. Questions de compréhension

Partie 1

- **Question 1 :** Supposons que vous avez candidaté pour plusieurs masters et que vous ayez reçu deux réponses favorables. Pour choisir entre les deux, parmi ces lobes lequel allez-vous le plus solliciter ?
    - a. lobe pariétal
    - b. lobe limbique
    - c. lobe frontal
    - d. lobe insulaire
- **Question 2 :** La prosopagnosie est un trouble de la reconnaissance des visages, à votre avis quel lobe est touché ?
    - a. lobe occipital
    - b. lobe temporal
    - c. lobe insulaire
    - d. lobe frontal

- **Question 3 :** Les deux hémisphères sont séparés par :
    - a. La fissure inter-hémisphérique
    - b. La scissure hémisphérique
    - c. La scissure inter-hémisphérique
    - d. La fente frontale

Partie 2

- **Question 4 :** Maintenant si vous voulez imaginer une pomme verte, le changement de couleur se fera au niveau du :
    - a. Lobe frontal
    - b. Lobe occipital
    - c. Lobe temporal
    - d. Lobe insulaire
- **Question 5 :** Vous voulez imaginer un ballon de foot mais l'image est floue, pourquoi ?
    - a. Il y'a trop de bruit dans votre cortex visuel
    - a. Vous n'aimez pas le foot
    - b. Le signal que vous envoyez n'est pas assez fort
    - c. Le signal que vous envoyez n'est pas assez fortIl y a trop de bruit dans votre cortex visuel ou le signal envoyé est faible
- **Question 6 :** Laquelle des affirmations suivantes est fausse concernant les ensembles neuronaux ?
    - a. Les neurones d'un ensemble neuronal sont connectés entre eux
    - b. Les neurones d'un ensemble neuronal ont tendance à s'activer ensemble
    - c. Un ensemble neuronal code le souvenir d'un objet
    - d. Les neurones d'un ensemble neuronal doivent être localisée dans le même lobe

Partie 3

- **Question 7 :** De quoi se compose un neurone ?
    - Un axone, des dendrites, un corps cellulaire, un noyau et des terminaisons nerveuses De bourgeons, un corps cellulaire, un noyau, un axone et des dendrites
    - a. Un corps cellulaire, une chevelure, un noyau, des terminaisons nerveuses et un axone

- b. Un noyau, des terminaisons nerveuses, un corps cellulaire et une tige
- c. Un axone, des dendrites, un corps cellulaire, un noyau et des terminaisons nerveuses
- d. De bourgeons, un corps cellulaire, un noyau, un axone et des dendrites

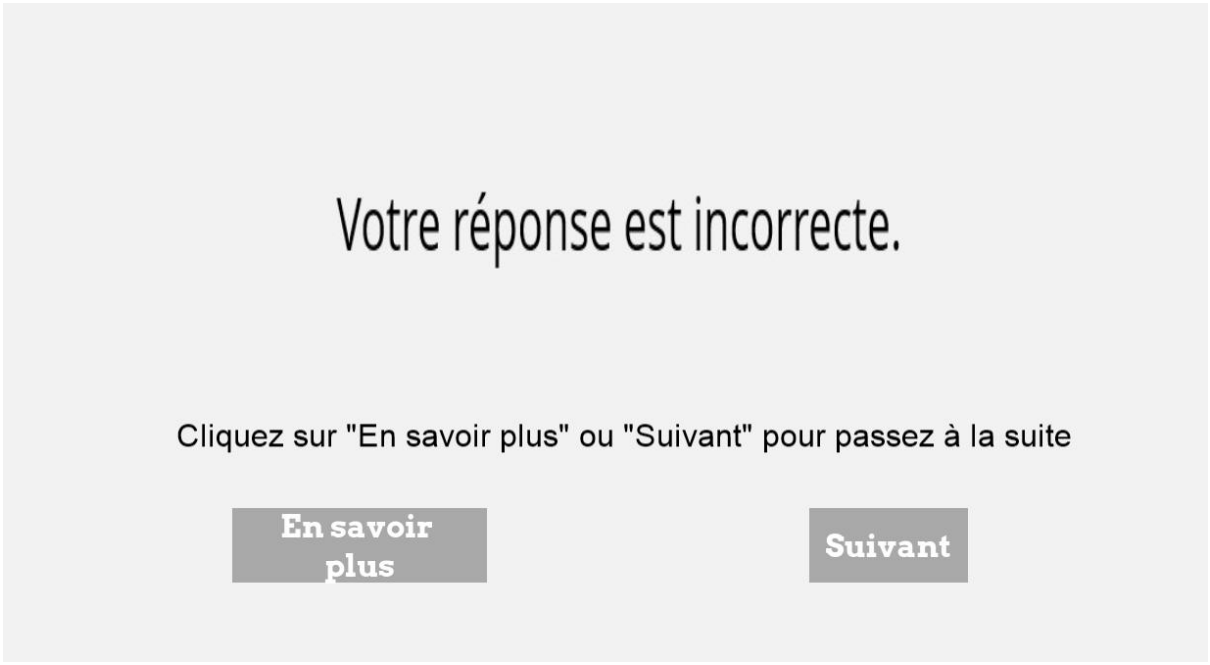
- **Question 8 :** Quel rôle ne remplit pas la myéline ?
  - a. Accélérer la transmission du signal entre les régions du cerveau
  - b. Empêcher que le signal ne se propage à d'autres neurones
  - c. Augmenter la conduction dans les axones longs afin d'établir un temps de conduction uniforme
  - d. Rendre possible la synthèse préfrontale
- **Question 9 :** Laquelle de ces activités nécessite la synthèse préfrontale ?
  - a. Se rappeler de sa grande mère
  - b. Halluciner
  - c. Rêver d'un voyage dans l'espace
  - d. Tout ce qui précède

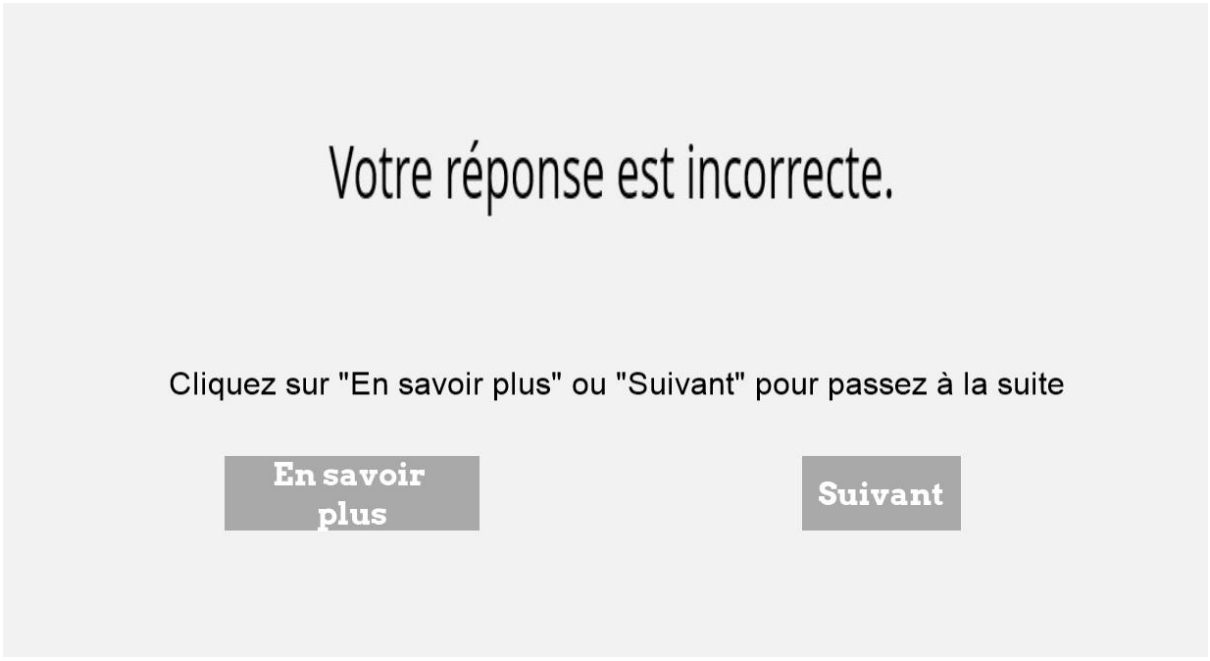
B.5. Feedback évaluatif expérience 1





B.6. Feedback évaluatif expérience 2





B.6. Feedback informatif

La bonne réponse est "le lobe frontal".

Le lobe frontal est impliqué dans les comportements complexes comme la prise de décision.

La bonne réponse est "le lobe temporal".

Il y'a une différence entre voir, géré par le lobe occipital, et reconnaître, géré par le lobe temporal. Nous pouvons voir le visage d'une personne sans forcément le reconnaître.

La bonne réponse est " la scissure interhémisphérique ".

Celle-ci permet de séparer l'hémisphère gauche et l'hémisphère droit.

La bonne réponse est " le lobe occipital ".

En effet, dans le lobe occipital se trouve le cortex visuel qui contient les neurones qui codent pour la couleur.

La bonne réponse est " Il y’a trop de bruit ou le signal est faible ".

L’image peut être floue soit à cause de la quantité élevée de bruit dans le cortex visuel soit à cause d’un signal faible envoyé par le cortex frontal.

La bonne réponse est "les neurones d’un ensemble neuronal doivent être localisés dans le même lobe".

Les neurones d’un ensemble neuronal peuvent être localisés dans des lobes différents.

La bonne réponse est " Un neurone se compose d’un axone, de dendrites, d’un corps cellulaire, d’un noyau et de terminaisons nerveuses ".

La bonne réponse est " Empêcher que le signal ne se propage à d’autres neurones ".

La myéline permet d’augmenter la vitesse du signal en particulier dans les axones longs. Ainsi, elle joue un rôle important dans la synthèse préfrontale.

La bonne réponse est " Tout ce qui précède ".

En effet, se rappeler de sa grand-mère, halluciner ou rêver d'un voyage dans l'espace est possible grâce à l'imagination et donc nécessite la synthèse préfrontale.

3. Annexe C : Matériel de l'étude 3

C.1. Phase en ligne

Partie A : Informations

L'Université Paris Nanterre traite les données recueillies pour tester l'efficacité d'une intervention sur les apprentissages.

Ceci est le questionnaire de l'étude qui se déroule entièrement en ligne. C'est un questionnaire sur vos croyances et vos attitudes en relation avec les apprentissages et permet de tester votre éligibilité. Il faut absolument répondre à toutes les questions si vous souhaitez participer à l'étude intitulé sur sona « Quelle intervention pour mieux apprendre ? »

Si vous n'avez pas répondu au questionnaire, vous ne pourriez pas participer.

Si vous n'êtes pas éligibles, vous recevrez un message de la part de l'expérimentateur sinon présentez-vous le jour J pour l'étude.

L'étude se déroulera en présentiel, salle C 20 E (Bâtiment Zazzo) et dure 1h30.

Durant la passation, vous allez réaliser deux modules d'apprentissage comprenant un texte et des questions de compréhension. Après chaque module, vous devrez de nouveau répondre à des questions de compréhension. Entre les deux modules vous allez réaliser un exercice d'écriture dont la consigne vous sera communiquée ultérieurement. Pendant que vous visualiserez les deux modules, vos mouvements oculaires et votre rythme cardiaque seront enregistrés. Les outils utilisés pour mesurer vos mouvements oculaires et votre fréquence cardiaque ne comporte aucun risque pour vous.

Vous serez aussi amené à répondre à des questionnaires qui mesurent vos jugements sur les apprentissages et vos attitudes.

En complétant les deux parties de cette étude, vous allez recevoir un total de 1.75 points dans le cadre de l'UE expérimentation. Il faut avoir participé aux deux parties pour recevoir les crédits.

L'enregistrement de vos mouvements oculaires :

Pour pouvoir enregistrer vos mouvements oculaires, nous utilisons un oculomètre sous forme d'une barre. Cet appareil reflète la lumière infrarouge de la pupille et de la cornée de l'œil. La pupille et la cornée absorbent une petite quantité d'énergie de la lumière infrarouge, mais cette énergie représente moins que la quantité permise par les recommandations internationales (American Standards Institute : ANSI Z 136.1-1973). Il s'agit d'à peu près la même quantité de lumière que celle que vous recevez lors d'une journée ensoleillée. Toutefois si un inconfort est ressenti, merci de bien vouloir en informer l'expérimentateur.

L'enregistrement de votre rythme cardiaque :

Pour enregistrer votre rythme cardiaque, nous utilisons un capteur attaché à deux électrodes. Les deux électrodes seront positionnées à droite et à gauche de votre sternum au niveau de la poitrine directement sur votre peau. Aucun courant électrique n'est envoyé dans votre corps.

<u>Information sur les données :</u>

Vos données seront traitées de façon anonyme.

Votre numéro sona sera utilisé uniquement pour mettre en lien les données de la première et la deuxième partie et pour vous attribuer les crédits. Votre numéro ne sera pas conservé.

A1. **J'ai bien compris les informations mentionnées ci-dessous et j'accepte de partie à cette étude.**

Oui ☐

Non ☐

Partie B : Traitement de vos données

B1. **J'accepte que mes données soient traitées dans le cadre de cette étude.**

Oui ☐

Non ☐

Partie C : Mon intelligence

Les questions suivantes explorent les croyances des élèves sur leur capacité personnelle à modifier leur niveau d'intelligence. Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses. Nous sommes simplement intéressés par votre opinion. À l'aide de l'échelle cidessous, veuillez indiquer dans quelle mesure vous êtes d'accord ou non avec les affirmations suivantes.

C1. **Je ne pense pas pouvoir faire grand-chose pour augmenter mon intelligence.**

Pas du tout d'accord ☐

Pas d'accord ☐

Plutôt pas d'accord ☐

Plutôt d'accord ☐

D'accord ☐

Tout à fait d'accord ☐

C2. Mon intelligence est un aspect de ma personne que je ne peux personnellement pas beaucoup changer.

- ☐ Pas du tout d'accord
- ☐ Pas d'accord
- ☐ Plutôt pas d'accord
- ☐ Plutôt d'accord
- ☐ D'accord
- ☐ Tout à fait d'accord

C3. Honnêtement, je ne pense pas que je puisse vraiment changer mon niveau d'intelligence.

- ☐ Pas du tout d'accord
- ☐ Pas d'accord
- ☐ Plutôt pas d'accord
- ☐ Plutôt d'accord
- ☐ D'accord
- ☐ Tout à fait d'accord

C4. Je peux apprendre de nouvelles choses, mais je n'ai pas la capacité de changer mon intelligence de base.

- ☐ Pas du tout d'accord
- ☐

Pas d'accord ☐

Plutôt pas d'accord ☐

Plutôt d'accord ☐

D'accord ☐

Tout à fait d'accord

C5. Avec suffisamment de temps et d'efforts, je pense que je pourrais améliorer significativement mon niveau d'intelligence.

Pas du tout d'accord ☐

Pas d'accord ☐

Plutôt pas d'accord ☐

Plutôt d'accord ☐

D'accord ☐

Tout à fait d'accord ☐

C6. Je crois que je peux toujours améliorer considérablement mon intelligence.

Pas du tout d'accord ☐

Pas d'accord ☐

Plutôt pas d'accord ☐

Plutôt d'accord ☐

D'accord ☐

Tout à fait d'accord ☐

C7. Indépendamment de mon niveau d'intelligence actuel, je pense que j'ai la capacité de le changer considérablement.

Pas du tout d'accord ☐

Pas d'accord ☐

Plutôt pas d'accord ☐

Plutôt d'accord ☐

D'accord ☐

Tout à fait d'accord

C8. Je crois que j'ai la capacité de changer considérablement mon niveau d'intelligence de base au fil du temps.

Pas du tout d'accord ☐

Pas d'accord ☐

Plutôt pas d'accord ☐

Plutôt d'accord ☐

D'accord ☐

Tout à fait d'accord ☐

Partie D : Mes réactions et mes pensées

Lisez attentivement chaque énoncé avant de répondre. Indiquez à quelle fréquence vous vous comportez de cette façon, en utilisant l'échelle de 1 à 5

D1. Je désapprouve et juge mes propres défauts et insuffisances

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D2. Lorsque je me sens mal, j'ai tendance à être obsédé(e) et à focaliser sur tout ce que ne va pas.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D3. Quand les choses vont mal pour moi, je vois ces difficultés comme faisant partie de la vie que chacun traverse.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D4. Quand je pense à mes souffrances, je me sens différent(e) et coupé(e) du reste du monde.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D5. J'essaie d'être aimant(e) enver moi-même quand je souffre.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D6. Quand j'échoue à quelque chose d'important pour moi, je suis envahi(e) par un sentiment de ne pas être à la hauteur.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D7. Quand je me sens déprimé(e), je me rappelle qu'il y a beaucoup d'autres personnes dans le monde qui ressentent la même chose.

1 : Presque jamais ☐

☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours

D8. Quand les choses vont vraiment mal, j'ai tendance à être dur(e) envers moi-même.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D9. Quand les chose me contrarie, j'essaie de garder mes émotions en équilibre.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D10. Quand je ne me sens pas à la hauteur d'une quelque façon, j'essaie de me rappeler que ce sentiment est partagé par la plupart des gens.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D11. Je suis intolérant(e) et impatient(e) envers les aspects de ma personnalité que je n'aime pas.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D12. Quand je traverse une période très difficile, je me donne le soin et la tendresse dont j'ai besoin.

1 : Presque jamais ☐

☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours

D13. Quand je me sens mal, j'ai tendance à avoir l'impression que les autres sont plus heureux que moi.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D14. Quand quelque chose de douleureux se produit, j'essaie d'avoir une vision équilibrée de la situation.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D15. J'essaie de voir mes défauts comme faisant partie de la condition humaine.

1 : Presque jamais ☐

☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours

D16. Quand je vois des aspects de moi-même que je n'aime pas, je me critique.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D17. Quand j'échoue à quelque chose d'important pour moi j'essaie de garder les choses en perspective.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D18. Quand c'est vraiment difficile pour moi, j'ai tendance à penser que la vie est plus facile pour les autres.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D19. Je suis bienveillant(e) envers moi-même quand je souffre.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D20. Quand quelque chose me perturbe, je me laisse emporter par mes sentiments.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D21. Je suis dur(e) envers moi-même quand je ressens de la souffrance.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D22. Quand je suis déprimé(e), je cherche à approcher mes sentiments avec curiosité et ouverture.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D23. Je suis tolérant(e) avec mes propres défauts et insuffisances.

1 : Presque jamais ☐

☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours

D24. Quand quelque chose de douleureux se produit, j'ai tendance à donner une importance hors de proportion à l'incident.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D25. Quand j'échoue à quelque chose d'important pour moi, j'ai tendance à me sentir seul(e) dans mon échec.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

D26. J'essaie d'être compréhensif(ve) et patient(e) envers les aspects de ma personnalité que je n'aime pas.

1 : Presque jamais ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 : Presque toujours ☐

Partie E: Vos pensées

E1. Si je n'arrive pas à atteindre mes objectifs, j'ai l'impression d'avoir échoué en tant que personne.

1. Ne me décrit pas du tout ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5. Me décrit très bien ☐

E2. J'estime avoir le droit à un meilleur traitement de la part des autres que celui que je reçois généralement

1. Ne me décrit pas du tout ☐

☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5. Me décrit très bien

E3. J'ai souvent conscience que je me sens inférieur(e) aux autres.

1. Ne me décrit pas du tout ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5. Me décrit très bien ☐

E4. J'ai tendance à me fixer des objectifs trop élevés et à me sentir frustré(e) quand j'essaie de les atteindre.

1. Ne me décrit pas du tout ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5. Me décrit très bien ☐

E5. J'ai tendance à me fixer des objectifs trop élevés et à me sentir frustré(e) quand j'essaie de les atteindre.

1. Ne me décrit pas du tout ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5. Me décrit très bien

E6. J'éprouve souvent du ressentiment lorsque les autres profitent de moi.

1. Ne me décrit pas du tout ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5. Me décrit très bien ☐

Partie F: sociodémographiques

F1. Quel est votre genre ?

Féminin ☐

Masculin ☐

F2. Quel est votre âge ?

☐☐☐☐☐☐☐☐☐☐

Partie G: Language

G1. Le français est-il votre langue maternelle ?

Oui ☐

Non ☐

G2. Le français est-il votre langue usuelle ?

Oui ☐

Non ☐

G3. Quel est votre niveau de français ?

Niveau de compréhension | | | | | | | | | | |

niveau d'expression | | | | | | | | | | |

Partie H: sona

H1. Quel est votre numéro sona ?

Celui utilisé dans le cadre de l'UE expérimentation

| | | | | | | | | | |

C.2. Lettre de consentement phase Laboratoire

Note d'information

L'Université Paris Nanterre traite les données recueillies pour tester l'efficacité d'une intervention sur les apprentissages.

Durant la passation, vous allez réaliser deux modules d'apprentissage comprenant un texte et des questions de compréhension. Après chaque module, vous devrez de nouveau répondre à des questions de compréhension. Entre les deux modules vous allez réaliser un exercice d'écriture dont la consigne vous sera communiquée ultérieurement. Pendant que vous visualiserez les deux modules, vos mouvements oculaires et votre rythme cardiaque seront enregistrés. Les outils utilisés pour mesurer vos mouvements oculaires et votre fréquence cardiaque ne comporte aucun risque pour vous.
Vous serez aussi amené à répondre à des questionnaires qui mesurent vos jugements sur les apprentissages et vos attitudes.

Compte tenu de la durée de la passation (**1h30**), il se peut que vous vous sentiez fatigué·e·s. Vous pouvez demander à l'expérimentateur de faire une pause après la réalisation du 1er module, avant la réalisation de l'exercice ou après avoir fini l'exercice. Cette expérience vous permettra d'acquérir un total de **1.75** points dans le cadre de l'UE expérimentation. Il faut avoir participé aux deux parties pour recevoir les crédits.

Vous trouverez ci-dessous des précisions concernant le recueil des données :

L'enregistrement de vos mouvements oculaires :
Pour pouvoir enregistrer vos mouvements oculaires, nous utilisons un oculomètre sous forme d'une barre. Cet appareil reflète la lumière infrarouge de la pupille et de la cornée de l'œil. La pupille et la cornée absorbent une petite quantité d'énergie de la lumière infrarouge, mais cette énergie représente moins que la quantité permise par les recommandations internationales (American Standards Institute : ANSI Z 136.1-1973). Il s'agit d'à peu près la même quantité de lumière que celle que vous recevez lors

d’une journée ensoleillée. Toutefois si un inconfort est ressenti, merci de bien vouloir en informer l’expérimentateur.

L’enregistrement de votre rythme cardiaque :
Pour enregistrer votre rythme cardiaque, nous utilisons un capteur attaché à deux électrodes. Les deux électrodes seront positionnées à droite et à gauche de votre sternum au niveau de la poitrine directement sur votre peau. Aucun courant électrique n’est envoyé dans votre corps.

L’Université Paris Nanterre (200 avenue de la République 92001 Nanterre), représentée par son président, M. Philippe Gervais-Lambony, est responsable de traitement. La base légale du traitement est l’exécution d’une mission de service public d’enseignement supérieur prévue à l’article L. 123-3 du code de l'éducation.

Votre numéro sona sera utilisé uniquement pour mettre en lien les données de la première et la deuxième partie et pour vous attribuer les crédits. Votre numéro ne sera pas conservé.

Les données collectées seront communiquées aux seuls destinataires suivants : Mariyem Ahmida, chercheuse principale et Laure Léger Chorki, MCF-HDR. Les données recueillies seront traitées de manière globale et anonyme et seront conservées en France pendant une durée de 3 ans. Les résultats seront publiés de manière anonyme, et cela, et à minima dans le cadre d’un manuscrit de thèse. Les chercheuses se réservent également la possibilité de diffuser ces résultats toujours de manière anonyme dans la communauté scientifique (conférences, séminaires, articles scientifiques).

Vous êtes libre de vous retirer ou de cesser votre participation à ce projet à tout moment. Ce retrait n’aura aucune conséquence sur vos études ou vos prochaines participations à des expériences.
Vous pouvez accéder aux données vous concernant, vous opposer au traitement de ces données, les rectifier, demander leur effacement ou exercer votre droit à la limitation du traitement de vos données. Vous pouvez retirer à tout moment votre consentement au traitement de vos données.

Consultez le site cnil.fr pour plus d'informations sur vos droits. Pour exercer ces droits ou pour toute question sur le traitement de vos données dans ce dispositif, vous pouvez contacter, notre délégué à la protection des données : dpo@liste.parisnanterre.fr

Si vous estimez, après nous avoir contactés, que vos droits « Informatique et Libertés » ne sont pas respectés, vous pouvez adresser une réclamation à la CNIL.

Formulaire de consentement dans le cadre de la collecte de données personnelles

Ce formulaire est destiné à recueillir votre consentement pour la collecte des données vous concernant, dans le cadre du projet « Quelle intervention pour mieux apprendre ? » piloté par Ahmida Mariyem, doctorante au sein du LINP2 de **l'Université Paris Nanterre.**

En signant le formulaire de consentement, vous certifiez :

- Qu'on a répondu à vos questions de façon satisfaisante,
- Qu'on vous a informé que vous étiez libre de retirer votre consentement ou d'arrêter de participer à cette recherche en tout temps, sans préjudice.

À remplir par le participant

- ☐ J'ai lu et compris les renseignements fournis dans la note d'information.
- ☐ J'accepte de plein gré de participer à cette recherche.
- ☐ J'accepte que mes réponses aux questions posées soient exploitées par l'équipe du projet.

Nom :…… **Prénom : …….**

Date : ……/….. /20….. **Signature :**

Un exemplaire de ce document vous est remis, un autre exemplaire est conservé dans le dossier.

En signant le formulaire de consentement, vous certifiez :

- Qu'on a répondu à vos questions de façon satisfaisante,
- Qu'on vous a informé que vous étiez libre de retirer votre consentement ou d'arrêter de participer à cette recherche en tout temps, sans préjudice.

À remplir par le participant

- ☐ J’ai lu et compris les renseignements fournis dans la note d’information.
- ☐ J’accepte de plein gré de participer à cette recherche.
- ☐ J’accepte que mes réponses aux questions posées soient exploitées par l’équipe du projet.

Nom :…… **Prénom : …….**

Date : ……/….. 20….. **Signature :**

C.4. Textes

Muscler son cerveau

Muscler son cerveau est un neuromythe très connu. Il sous-entend que le cerveau est un muscle et donc qu’on peut le faire travailler pour avoir de meilleures capacités cérébrales, tout comme n’importe quel autre muscle de notre corps. Ce neuromythe est à la base de bon nombre de programmes d’entrainement cérébral. Il tiendrait son origine d’une expérience qui a eu lieu au tout début des sciences cognitives, sur la mémoire à court terme (lieu de stockage bref des informations, qui peuvent ensuite être stockées ou non dans la mémoire à long terme).

Alors que dès 1956, Miller établit à l’aide d’une étude que la capacité de la mémoire à court terme est de 7 éléments (plus ou moins deux), le psychologue K. Anders Ericsson se demande s’il est possible d’augmenter cette capacité. Il demande à un étudiant (S.F.) de s’entraîner à mémoriser des séries de chiffres qu’il doit rappeler ensuite dans l’ordre pendant 20 mois à raison d’environ 5 heures par semaine. Après ces 20 mois d’entraînement, ses capacités se sont multipliées par 10 c’est-à-dire qu’il est capable de rappeler dix fois plus de chiffres dans l’ordre qu'au début de l’expérience. Ce premier résultat suggère donc qu’il est possible à force d’entrainement de booster ses capacités mnésiques.

Muscler son cerveau (suite)

Revenons à S.F. et à l’étude d’Ericsson. Si S.F. avait bien boosté ses capacités mnésiques avec ces 20 mois d’entrainement, il devrait être capable de réitérer son exploit avec tout type d’information. Or quand on lui demande de rappeler une série de lettres qu’il vient d’entendre, ses capacités retombent à une rétention de 7 éléments.

En fait pendant ces 20 mois d’entrainement SF avait appris à mettre en place une stratégie de mémorisation : étant passionné de courses olympiques, il avait appris à reconnaitre dans les séries de chiffres des dates de record, qui elles étaient déjà stockées en mémoire à long terme, et donc prêtes à être utilisées.

D’autres études plus récentes ont tenté de montrer l’effet bénéfique de différents programmes d’entrainement cérébral sur nos capacités cérébrales. Ces études montrent que dès lors que nos capacités cérébrales (mnésiques, attentionnelles …) ont pu être boostées grâce à cet entrainement, dès qu’il s’agissait d’appliquer cette capacité boostée à une autre tâche, comme par exemple des activités de la vie de tous les jours, les performances des individus reviennent à leur niveau initial.

Apprendre en dormant

En 1931 sort le roman *Le meilleur des mondes* d'Aldous HUXLEY qui imagine une civilisation futuriste pratiquant l'hypnopédie : la capacité d'apprendre de nouvelles choses tout en dormant. Bercés par cette idée, certains en ont fait une méthode d'apprentissage. On peut ainsi entendre que d'écouter un audio durant la nuit est une bonne solution pour apprendre. Des chercheurs se sont penchés aussi sur cette question dans les années 1950-1960 à travers des expériences. Des listes de mots étaient par exemple mieux rappelées après une sieste. Ainsi en 1962, un chercheur russe Svyadoshch aurait montré qu'il était possible de percevoir un discours pendant le sommeil et de le restituer avec un bon niveau de fidélité au réveil.

D'autres chercheurs russes auraient également montré qu'il était possible d'apprendre une langue étrangère en dormant. Ils rapportaient qu'il était possible de mémoriser, reconnaître et reproduire des mots dans une langue étrangère (anglais ou latin) avec leur équivalent en langue natale (russe) pendant le sommeil. Par ailleurs de nombreuses études ont montré le lien étroit entre consolidation des connaissances et sommeil. Cela a suffi à nourrir des fantasmes et à vendre des programmes d'apprentissage basés sur l'hypnopédie. Mais ces études soviétiques comportent de nombreuses limitations méthodologiques.

Apprendre en dormant (suite)

Par exemple, l'état de sommeil des sujets n'était déterminé qu'à partir de la respiration et de l'activité musculaire des sujets. Par ailleurs, les informations à retenir étant diffusées aux sujets à l'endormissement ou bien juste avant le réveil, il est fort probable que ces derniers n'étaient pas profondément endormis et étaient donc, d'une certaine façon, encore conscients.

Dans les années 1990, des études ont été réalisées sur l'apprentissage durant le sommeil avec un contrôle strict de l'état du sommeil par électroencéphalographie (EEG). Hélas, aucun résultat en faveur de l'apprentissage pendant le sommeil n'a été mis en évidence par ces études. Il semble que l'apprentissage nécessite un environnement neurochimique spécifique, lequel n'est pas retrouvé au cours du sommeil, du fait de la plus faible excitabilité des neurones.

Si le sommeil ne permet pas de faire de nouveaux apprentissages, il joue cependant un rôle considérable dans le développement et le fonctionnement du cerveau. Il permet notamment de consolider les apprentissages que l'on a fait en période d'éveil.

C.5. Questions

Texte Muscler son cerveau

Vous avez suivi un programme d'entraînement pour mémoriser une série de 30 lettres.

Après quelques mois, vous serez capable de :

1. Rappeler une nouvelle série de 30 lettres
2. Rappeler une nouvelle série de 20 mots
3. Rappeler une série de 7 chiffres

Votre mémoire de travail peut stocker :

1. 7 chiffres
2. 7 noms d'espèces d'oiseaux
3. 7 lettres

Quelle stratégie de mémorisation a été utilisée par l'étudiant S.F. ?

1. Mettre en lien les chiffres avec des dates d'anniversaire
2. Mettre en lien les chiffres en lien avec des couleurs
3. Mettre en lien les chiffres avec des dates de records olympiques

Le neuromythe « Muscler son cerveau » s'appuie sur l'expérience de quel auteur ?

1. Mayson
2. Ericsson
3. Miller

Le neuromythe « Muscler son cerveau » s'appuie sur l'expérience de quel auteur ?

1. Mayson
2. Ericsson
3. Miller

Supposons que l'entraînement de la mémoire de travail marche vraiment.

Après cet entraînement, vous devriez être capable de :

1. Restituer plus de 7 chiffres
2. Restituer plus de 7 lettres
3. Restituez plus de 7 éléments que ce soient des chiffres ou des lettres

A quoi sert la mémoire de travail ?

1. Garder un numéro de téléphone en mémoire le temps de le noter
2. Mémoriser un cours pour un examen
3. Se rappeler d'une date d'anniversaire

À la suite de l'entraînement, les capacités de l'étudiant S.F ont été multipliées par :

1. 20
2. 5
3. 10

À la fin de l'entraînement, l'étudiant S.F. pouvait rappeler :

1. 70 chiffres
2. 20 chiffres
3. 50 chiffres

Pour combien de temps l'étudiant S.F. s'est entraîné ?

1. 5 mois et 20h par semaine
2. 20 mois et 5h par semaine
3. 10 mois et 5h par semaine

Vous avez fini un entraînement cérébral pour booster votre mémoire des chiffres

Vous êtes capable de :

1. Retenir une liste de courses
2. Retenir des dates de votre cours d'histoire
3. Un numéro de téléphone

Apprendre en dormant

C'est quoi l'hypnopédie :

1. La capacité d'apprendre de nouvelles choses en utilisant l'hypnose
2. La capacité d'apprendre de nouvelles choses tout en dormant
3. Un état du sommeil qui permet d'apprendre

Quelle est la méthode la plus juste pour vérifier l'état de sommeil ?

1. La respiration
2. L'activité musculaire
3. L'activité cérébrale

Qu'est ce qui empêche l'apprentissage pendant le sommeil ?

1. Les rêves
2. La faible excitabilité du cerveau
3. Le passage par des périodes de sommeil profond

Si une personne réussit à apprendre en dormant, cela veut dire :

1. Qu'elle a des capacités rares
2. Qu'elle ne dormait pas vraiment
3. Que ce qu'elle devait apprendre était facile

Quels sont les résultats des études russes ?

1. On peut reproduire des mots qu'on a appris en dormant en langue étrangère
2. On peut restituer tout un discours qu'on a écouté en dormant
3. Les programmes basés sur l'hypnopédie peuvent marcher

Comment s’appelle l’auteur du roman « Le meilleur des mondes » ?

1. Harper
2. Hailey
3. Huxley

En quelle année le chercheur russe a pu montrer qu’on peut apprendre pendant le sommeil ?

1. 1962
2. 1960
3. 1964

En quelle année est sorti le roman « le meilleur des mondes » ?

1. 1935
2. 1939
3. 1931

Pendant quelle période les études ont pu être menées avec un contrôle strict du sommeil ?

1. Les années 1960
2. Les années 1990
3. Les années 2000

Pourquoi on ne peut pas se fier aux études soviétiques ?

1. Elles n'utilisaient pas la bonne méthode pour mesurer le sommeil
2. Elles utilisaient uniquement la respiration pour mesurer le sommeil
3. Elles utilisaient l'activité musculaire pour mesurer le sommeil

C.6. Feedbacks évaluatifs

Votre réponse est incorrecte

Votre réponse est correcte

C.7. Feedbacks informatifs

Comme vous vous êtes entraînez sur la mémorisation des lettres, vous serez capable de rappeler une nouvelle série de 30 lettres. Vous serez aussi capable de mémoriser une série de 7 chiffres qui correspond à la capacité de votre mémoire de travail.

La capacité de votre mémoire de travail est de 7 éléments. Elle peut donc stocker 7 chiffres ou 7 noms d'espèces d'oiseaux ou 7 lettres.

L'étudiant S.F. mettait en lien les chiffres avec des dates de records olympiques déjà stockées en mémoire à long terme.

Le neuromythe « muscler son cerveau » s'appuie sur l'expérience de Miller.

Si l'entraînement de la mémoire marchait vraiment, vous devriez être capable

de restituez plus de 7 éléments que ce soient des chiffres ou des lettres

La mémoire de travail sert à garder un numéro de téléphone en mémoire le temps de le noter.

À la suite de l'entraînement, les capacités de l'étudiant S.F ont été multiplié par 10.

À la fin de l'entraînement, l'étudiant S.F. pouvait rappeler 7 x 10 = 70 chiffres.

L'étudiant S.F. s'est entraîné pendant 20 mois à raison de 5h par semaine.

Votre entraînement concernait la mémoire des chiffres. Vous serez donc capabl e de retenir des dates de votre cours d'histoire et un numéro de téléphone.

Apprendre en dormant

Votre entraînement concernait la mémoire des chiffres. Vous serez donc capabl e de retenir des dates de votre cours d'histoire et un numéro de téléphone.

La méthode la plus juste pour vérifier l'état de sommeil est l'utilisation de l'activité cérébrale.

La faible excitabilité du cerveau pendant le sommeil empêche un potentiel apprentissage.

Si une personne réussit à apprendre en dormant, cela veut dire qu'elle n'était pas vraiment endormie.

Les études russes ont montrées qu'on peut reproduire des mots qu'on a appris en dormant en langue étra ngère et restituer tout un discours qu'on a écouté en dormant. Ce qui implique que l'hypnopédie peut marcher.

L’auteur du roman « Le meilleur des mondes » s’appelle Huxley.

C’est en 1962 que le chercheur russe a pu montrer qu’on peut apprendre pendant le sommeil.

Le roman « le meilleur des mondes » en 1931.

Les études avec un contrôle strict du sommeil ont été menées dans les années 1990.

On ne peut pas se fier aux études soviétiques parce qu'elles n'utilisaient pas la bonne méthode pour mesurer le sommeil.

C.8. Tâche autocompassion

Exercice d'autocompassion :

Pensez aux erreurs que vous avez commises en répondant aux questions de compréhension sur le texte que vous avez lu.

1. Prenez le temps d'écrire quelques mots sur ce que vous avez ressenti quand vous avez reçu le message indiquant que vous avez commis une erreur. Quand vous écrivez, essayez d'être le plus possible dans une posture de non-jugement et d'accepter votre expérience telle qu'elle est.

2. Maintenant prenez le temps de réfléchir et écrire sur comment tous les étudiant·es peuvent se trouver dans une situation similaire à la vôtre et commettre à leur tour des erreurs quand ils ou elles apprennent de nouvelles choses.

3. Mettez-vous dans la peau de votre meilleur·e ami·e, que vous dira-t-il ou elle si vous n'aviez pas réussi à répondre correctement ?
   Ecrivez quelques mots de bienveillance, de gentillesse et de réconfort envers vous-même.

C.9. Tâche contrôle

Exercice de rédaction

Choisissez une journée quelconque de la semaine dernière.

Prenez le temps de vous rappeler ce qui s’est passé pendant cette journée puis écrivez un paragraphe où vous racontez ce qui s’est passé.

4. Annexe D : Etude supplémentaire sur le climat positif à l'erreur

Cette étude s'est intéressée à l'impact d'un climat positif à l'égard de l'erreur, instauré au sein d'un cours, sur l'évolution des croyances des étudiant·e·s concernant l'erreur et sur leurs réactions face à celle-ci.

Un climat positif à l'erreur se définit comme « l'évaluation et l'utilisation des erreurs comme partie intégrante du processus d'apprentissage dans l'environnement social d'apprentissage au sein de la classe » (Steuer et al., 2013, p.198). Dans un tel climat, les erreurs sont considérées comme des occurrences naturelles et des opportunités pour approfondir les connaissances. Les enseignants réagissent avec patience et soutien, aidant les élèves à analyser les causes de leurs erreurs et à discuter des conceptions erronées sous-jacentes. Les élèves, quant à eux, comprennent qu'ils sont dans un environnement où les erreurs sont permises et servent de tremplin pour l'apprentissage, plutôt que d'être uniquement associées à des évaluations négatives.

Les dimensions clés d'un climat positif de l'erreur incluent :

- **Sécurité psychologique** : Les élèves se sentent en confiance pour prendre des risques et commettre des erreurs sans craindre de réprimandes ou de moqueries.
- **Feedback constructif** : Les enseignants fournissent des retours qui encouragent la réflexion et l'amélioration, plutôt que de simplement corriger ou sanctionner les erreurs.
- **Analyse collaborative des erreurs** : Les erreurs sont discutées ouvertement en classe, permettant aux élèves d'apprendre les uns des autres et de comprendre différentes perspectives.
- **Encouragement de la métacognition** : Les élèves sont incités à réfléchir sur leur propre processus d'apprentissage, à reconnaître leurs erreurs et à développer des stratégies pour les surmonter.

Il a été établi qu'un tel climat favorise des réactions adaptées face à l'erreur (Soncini et al., 2022). Ces réactions peuvent être catégorisées en deux types (Grassinger & Dresel, 2017) : les réactions affectivo-motivationnelles et les réactions liées à l'action. Des réactions affectivo-

motivationnelles adaptées permettent aux étudiant·e·s de maintenir des émotions positives face à l'erreur, ainsi que la motivation nécessaire pour se corriger et poursuivre leur apprentissage. Quant aux réactions adaptées liées à l'action, elles se traduisent par la mise en œuvre de stratégies pour surmonter les incompréhensions et tirer des leçons de ses erreurs.

Ces deux types de réactions sont étroitement liés aux croyances que les étudiant·e·s entretiennent à l'égard de l'erreur (Tulis et al., 2018). Des croyances plus positives sont généralement associées à des réactions plus adaptées.

Afin d'évaluer l'influence d'un climat positif à l'erreur sur ces croyances et ces réactions, nous avons mis en place une étude longitudinale sous forme de tutorat en statistiques, destiné à des étudiant·e·s de première année de licence.

Durant trois séances de tutorat, les participant·e·s travaillent, avec l'encadrement d'un tuteur, sur des exercices de statistiques pertinents pour leur cursus universitaire. Les participant·e·s sont réparti·e·s aléatoirement dans un groupe bénéficiant d'un climat positif à l'erreur et dans un groupe neutre. La comparaison des évolutions observées dans ces deux groupes permettra d'évaluer l'efficacité d'un climat positif à l'erreur et sa capacité à transformer la perception que les étudiant·e·s ont de leurs erreurs.

L'objectif de l'étude était de déterminer si instaurer un climat positif à l'erreur a un impact bénéfique sur la perception de l'erreur, les réactions face à l'erreur, la perception du climat de classe concernant l'erreur, et les performances académiques des étudiant·e·s, comparativement à un groupe contrôle.

Méthode

Participants

Dix-neufs étudiants de première année de Licence en Psychologie (84%F) recrutés via la plateforme SONA ont participé à l'étude avec une moyenne d'âge de 19.5 (*ET* = 1.68). L'expérience a reçu un avis favorable du comité éthique N° d'avis : 2023-01-05.

Matériel

Échelle des croyances sur l'erreur (Tulis et al., 2017)

Échelles mesurant les réactions affectivo-motivationnelles et liées à l'action face à l'erreur (Grassinger et al., 2017)

Échelle du climat perçu de la classe (Steuer et al., 2013)

Échelle des théories implicites sur l'intelligence (Ahmida et al., accepté),
Un questionnaire socio-démographique.
Tests niveau de statistiques

Procédure

L'étude longitudinale comportait quatre séances de tutorat en statistiques, organisées en petits groupes de 10 participants maximum. Les sessions étaient filmées pour vérifier le respect du protocole (climat positif vs. groupe contrôle).
Lors de la première séance, les participants complétaient un test de niveau en statistiques et les questionnaires pré-expérimentaux. Ils réalisaient ensuite des exercices de statistiques sous la supervision d'un tuteur. La dernière séance comprenait un test final de statistiques ainsi que les mêmes questionnaires administrés en pré-test, accompagnés d'une évaluation du climat perçu de la classe.
Un débriefing était fourni à l'issue de l'étude.

Résultat

En raison d'un nombre de participants insuffisant pour mener des analyses statistiques robustes et de contraintes de temps qui n'ont pas permis de reconduire l'étude, nous ne présenterons pas d'analyses inférentielles. Cependant, nous pouvons fournir quelques résultats descriptifs préliminaires.

Descriptives

	groupe	Score Croyances PRE	Score Croyances POST	Score Reactions Affect PRE	Score Reactions Affect POST	Score Reactions Action PRE	Score Reactions Action POST
Mean	1	18.8	22.0	3.14	3.75	3.79	3.99
	2	21.4	23.3	2.73	3.89	4.17	4.40
Standard deviation	1	4.87	2.45	0.859	0.691	0.523	0.407
	2	3.81	2.50	1.23	0.692	0.795	0.494

Note : Groupe 1 : Climat positif, Groupe 2 : Contrôle