

Détection des changements d'état émotionnel à travers des mesures physiologique et comportementales

AUDEBERT Alex - BIRET Margo - MIELE Andrea - MORANDO Emma - PELLEGRIN Noémie

Elèves ingénieurs en cognitique en première année, ENSC, Bordeaux INP

Résumé

De nombreuses recherches ont démontré l'importance des émotions dans le processus d'apprentissage. Ainsi, ces dernières sont importantes à mesurer et à contrôler pour assurer le bon déroulement du processus d'apprentissage. Cependant, cette problématique devient ardue lorsqu'il s'agit d'apprentissage par un outil dérivé, en support de l'enseignant, tel qu'un serious game. L'avantage de ces outils n'est pas à démontrer, grâce à son influence sur des facteurs motivationnels, entre autres, mais ils peuvent être améliorés par la prise en compte des émotions des joueurs. Cette recherche vise à trouver les variables comportementales du jeu Fractions Island, nécessaires pour mesurer le changement d'état émotionnel d'un joueur.

Etat de l'art

Le processus d'apprentissage, de compétences ou de connaissances quelles qu'elles soient, est influencé par de nombreux facteurs. En effet, plusieurs théories de l'apprentissage ont émergé ces dernières années et ont mis en lumière ces différents facteurs. La théorie constructiviste de Piaget a montré que l'apprentissage se fait par un sujet acteur, qui interagit avec l'environnement et apprend ou modifie ses schèmes pour intégrer de nouvelles connaissances (Bourgeois, 2011). Ainsi un apprenant doit être engagé dans son apprentissage, mobiliser son attention et sa métacognition. Également, la théorie socio-cognitiviste de Bandura ou socio-constructiviste de Vygotski ont focalisé l'attention sur l'importance des interactions sociales et de l'influence de la conation. Une personne apprend par imitation, observation et est influencée par ses émotions. Ainsi, avec ces nombreux facteurs, il est possible de moduler l'efficacité de l'apprentissage d'un élève.

Cependant, un facteur particulièrement intéressant et complexe, qui joue un rôle essentiel dans la vie quotidienne, sont les émotions. Ces dernières sont essentielles dans la cognition car elles impactent les capacités d'un individu (Dolcos, F., Wang, L., & Mather, M. 2014) et

récioproquement leur gestion constitue l'une des fonctions exécutives de l'être humain. Elles sont en permanence modulées par un individu et peuvent avoir des conséquences positives comme négatives, surtout lors d'un apprentissage (Cuisinier et Pons, 2011). Ainsi, les prendre en compte dans le contexte scolaire est capital.

De plus, de nombreux outils ont été et sont encore utilisés pour contribuer à l'apprentissage de nouvelles compétences. C'est notamment le cas des serious games. Ces derniers apportent une manière différente d'apprendre aux élèves et possèdent des effets positifs sur de multiples leviers de l'apprentissage, tels que les facteurs motivationnels, le niveau d'engagement ou les émotions (Boyle et al., 2016).

Toutefois, ces dispositifs sont majoritairement à sens unique, ils ne prennent pas en compte l'état du joueur pour s'adapter à celui-ci. Tout l'enjeu est alors de trouver des moyens de mesurer ce dernier au travers de l'interaction entre le joueur et le jeu. Ainsi, une piste émergente dans le domaine est la mesure de l'état émotionnel. Plusieurs travaux ont déjà été effectués et des propositions ont été faites (Simonazzi, 2021). C'est pourquoi, l'objet de notre recherche a été d'identifier les variables du jeu permettant de caractériser et détecter un changement d'état émotionnel chez un joueur.

L'hypothèse que nous formulons est la suivante : le changement d'état émotionnel d'un joueur peut être détecté par la mesure de variables de performances du jeu. Nous nous attendons alors à observer des signaux cardiaques, un nombre d'erreurs et de temps de réalisation d'un exercice différent selon l'état émotionnel des participants.

Matériel et méthode

Participants

Dix-huit élèves de CM2 d'une école primaire de Bordeaux ont participé à l'étude. Leur niveau de maîtrise des fractions est évalué à correct voire excellent d'après les standards de l'éducation en vigueur et appliqués par leur professeur.

Matériel

Pour réaliser les mesures cardiaques, des ceintures Polar H10 ont été utilisées. Dans le cas où ces dernières étaient trop grandes, des épingles à nourrice étaient rajoutées pour qu'elles soient de la bonne taille. Pour extraire les données mesurées par les ceintures, plusieurs smartphones avec une connexion Bluetooth étaient nécessaires. Ensuite, un ordinateur portable a servi à diffuser des vidéos. De plus, un questionnaire d'auto-évaluation des émotions, issu de la Geneva Émotion Wheel traduite en français, a été utilisé.

Méthode

L'expérience se déroule dans une pièce calme, avec trois participants et cinq expérimentateurs en retrait. Elle est décomposée en trois parties. La première est une phase contrôle permettant de calibrer les paramètres mesurés. Elle consiste à regarder une vidéo neutre pendant 5 minutes. Puis, les participants réalisent une session de jeu d'un niveau facile.

Ensuite, les participants sont séparés en deux groupes. L'un d'eux réalise un exercice difficile du jeu, l'autre sert de groupe contrôle et regarde à nouveau une vidéo neutre. Chaque phase de l'expérience dure 5 minutes maximum. Entre chaque test ainsi qu'au début et à la fin de l'expérience, un questionnaire d'auto-évaluation de l'état émotionnel est rempli par le sujet.

Les consignes données aux sujets étaient de ne pas parler pour ne pas perturber les mesures cardiaques effectuées. A tout moment, ils étaient libres de poser des questions sur les exercices dans le cas où la consigne n'était pas claire.

En outre, afin de donner un score d'état émotionnel, les émotions de la GEW ont été catégorisées selon leur niveau de valence (agréable ou désagréable) et leur intensité (faible à très forte), en accord avec le modèle circulaire des émotions de Russell et Barrett (1999). Le score a été calculé en sommant les différentes intensités notées pour chaque émotions, pondérées par un coefficient 1 ou -1 selon la valence de l'émotion, puis en divisant cette somme par le nombre d'émotions choisies dans la GEW.

Analyse

Tout d'abord, le RMSSD (Root Mean Square of the Successive Differences) des différents participants a été calculé. Il s'agit de la moyenne quadratique des différences successives de la fréquence cardiaque. Il permet de mesurer l'état cognitif et émotionnel d'une personne. Il sert, dans cette expérience, à détecter un changement d'état émotionnel à travers ses variations. Le logiciel matlab et les données cardiaques des sujets ont été utilisés afin de calculer le RMSSD de chacun des participants à chaque étape de l'expérience.

Une fois cela effectué, différentes données statistiques (moyenne, écart-type) ont été calculées pour vérifier que les données relevées sont significatives et utilisables.

Groupe contrôle			
	Partie 1	Partie 2	Partie 3
Moyenne	23,96688889	21,97022222	24,89811111
Ecart-type	3,973456444	6,439605477	6,593561906

Groupe test			
	Partie 1	Partie 2	Partie 3
Moyenne	24,949	21,68522222	19,95755556
Ecart-type	2,343259269	4,972060835	1,182511851

Figure 1 : Moyenne et écart-type du RMSSD pour les deux groupes

Il est notable que les moyennes de RMSSD entre les deux groupes sont très similaires, excepté pour la partie 3 où le groupe test semble se démarquer du groupe contrôle.

Par la suite, différents tests d'hypothèses entre les deux groupes de participants ont été effectués. Le RMSSD étant propre à chaque individu, les comparer n'aurait pas eu de sens. C'est pourquoi, les tests ont été fait sur la différence de résultats entre la partie 1 (condition contrôle) et la partie 3 (condition test ou repos) pour chaque participant. Ces tests ont requis l'utilisation du logiciel RStudio. L'hypothèse H1 posée était que la moyenne des RMSSD du groupe contrôle est inférieure à celle du groupe test. La valeur de p-value obtenue est de 0.03.

Ensuite, afin de détecter un changement d'état émotionnel, le résultat des questionnaires remplis par les participants entre chaque partie des passations a été utilisé. Les calculs statistiques usuels, ainsi que des boxplots ont été faits.

Groupe contrôle				
	Début de l'expérience	Après la première vidéo	Première session de jeu	Après la deuxième vidéo
Moyenne	2,592592593	2,907407407	3,814814815	3,481481481
Ecart-type	1,541353822	2,178032865	2,108916988	2,713705498

Groupe test				
	Début de l'expé	Après la première vidéo	Première session de jeu	Après l'exercice difficile
Moyenne	4,388888889	4,833333333	4,685185185	4,962962963
Ecart-type	1,160699023	0,8579691784	1,143958905	1,056651478

Figure 2 : Moyenne et écart type de l'état émotionnel pour les deux groupes

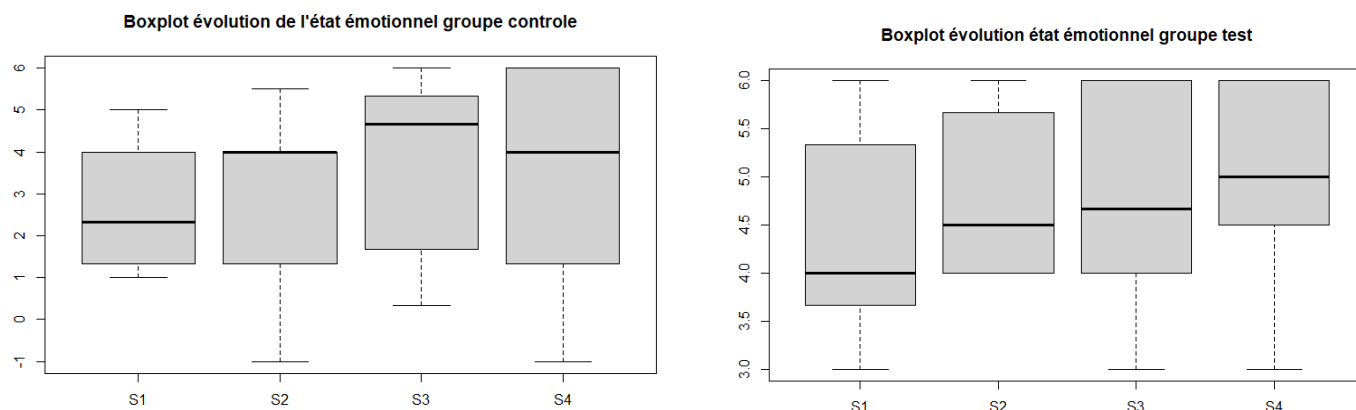


Figure 3 : Boîtes à moustaches des états émotionnels pour le groupe test et contrôle

Il est possible d'observer qu'en moyenne et en médiane l'état émotionnel des participants du groupe test est plus élevé que celui du groupe contrôle. Pour autant, les deux groupes ont une évolution positive semblable de l'état émotionnel au cours des différentes parties de l'expérience.

Le groupe test et le groupe contrôle ont été comparés sur la différence des résultats du questionnaire émotionnel entre la fin de la passation (S4) et après avoir regardé la vidéo neutre (S2). Ces données représentent alors la valeur de changement d'état émotionnel. De même, un test de Student mené sur la différence d'état émotionnel entre la partie 3 et la partie 1 donne une p-value de 0.35.

Enfin, différentes corrélations ont été calculées entre le RMSSD et les données de l'application. La première concerne la différence de RMSSD entre la partie 3 et la partie 1 et la différence du nombre d'erreurs entre la partie 3 et les parties 1 et 2.

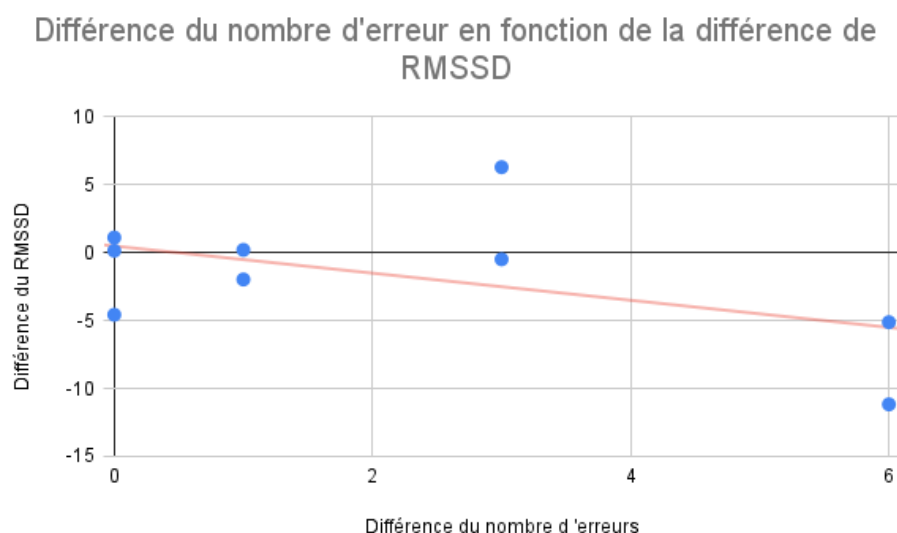


Figure 4 : Représentation graphique de la différence de RMSSD sur la différence du nombre d'erreurs

Le coefficient de corrélation linéaire calculé entre ces deux variables est de $r_n = -0,44$.

Ensuite, la corrélation entre le temps de la partie 1 et 2 et le RMSSD de la partie 1 et 2 ont été analysés.

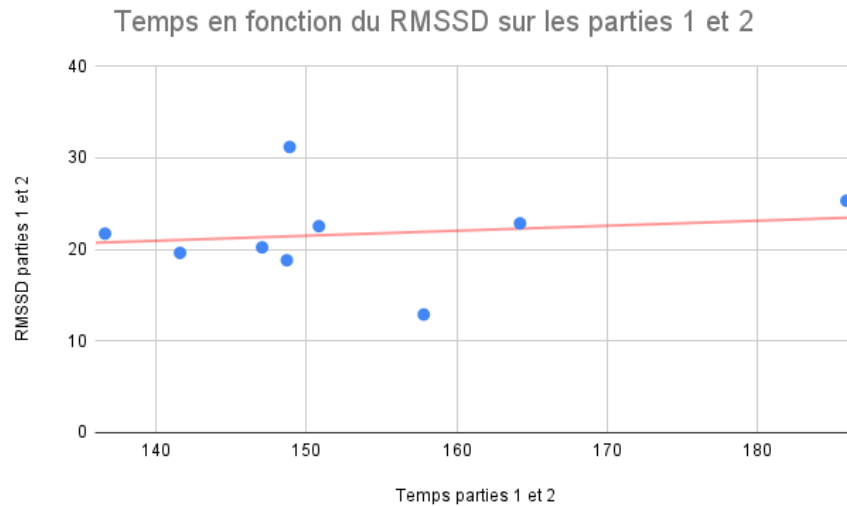


Figure 5 : Représentation graphique du RMSSD sur le temps de réalisation des parties 1 et 2 du jeu (exercice facile)

Ici, le coefficient de corrélation linéaire vaut $r_n = 0,14$. Puis, la même chose a été réalisée entre le temps et le RMSSD de la partie 3.

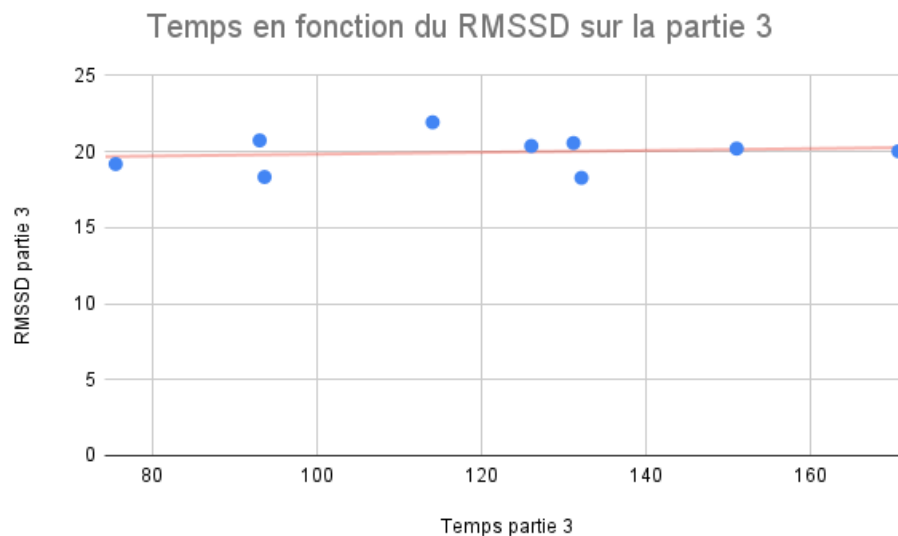


Figure 6 : Représentation graphique du RMSSD sur le temps de réalisation de la partie du jeu (exercice difficile)

De même, le coefficient de corrélation linéaire vaut $r_n = 0,14$.

Discussion

A l'aide des résultats obtenus dans le premier test de Student (p -value = 0.03), l'hypothèse d'égalité des moyennes est rejetée. Ainsi, il existe une différence significative entre les deux jeux de données, la moyenne des RMSSD du groupe contrôle est inférieure à celle du groupe test. L'expérience montre donc bien que faire un exercice plus difficile implique une augmentation du

RMSSD. Ceci s'explique par le fait que lorsque l'activité cérébrale est plus élevée le RMSSD l'est aussi (Porges, 2007). Cependant, il présuppose que les enfants du groupe test n'ont pas été stressés car la valeur de RMSSD est généralement plus faible lorsque le sujet stresse.

Les autres tests d'hypothèses permettent de vérifier ce fait en se basant sur la différence d'état émotionnelle évaluée par les enfants. D'après les résultats du test de Student (p -value = 0.35), la conclusion d'une différence significative de changement d'état émotionnel entre les deux groupes n'est pas possible. Ce manque de résultats peut s'expliquer par différentes raisons. Tout d'abord, chaque participant a dû remplir le questionnaire quatre fois (au début de l'expérience puis à la fin de chaque phase), et nous avons remarqué que cela les ennuyait. Il se peut donc qu'ils n'aient pas fait cela aussi sérieusement que possible car trop répétitif. Ensuite, définir les émotions que nous ressentons, les exprimer et mettre un mot dessus est un exercice compliqué, d'autant plus pour des enfants. Le manque de vocabulaire a aussi pu être un frein, car même si les mots qu'ils ne comprenaient pas étaient expliqués, comprendre le sens d'une émotion n'est pas aisé. Par conséquent, il se peut que les émotions choisies ne soient pas les plus représentatives de celles réellement ressenties par les participants.

Malgré le manque de données concluantes du côté des émotions, il restait à évaluer si les données du RMSSD étaient corrélées à celles des données du jeu. La première corrélation calculée montre une légère corrélation linéaire décroissante, mais devant le graphique et le peu de données, il n'est pas possible de statuer sur le fait qu'une relation existe entre le RMSSD et le nombre d'erreurs fait par l'enfant.

Ensuite, la deuxième corrélation obtenue entre la valeur de RMSSD et le temps de réalisation du premier exercice étant très éloignée de 1, il est possible de conclure que les deux variables ne sont pas liées. Enfin, la dernière valeur de corrélation entre le RMSSD et le temps de réalisation de l'exercice 3 est ici aussi très faible. Ceci qui témoigne d'une non corrélation entre les variables. Ainsi, dans cette expérience, aucune relation n'a été trouvée entre la valeur de RMSSD et le temps mis pour réaliser les exercices, comme pour le nombre d'erreurs que les enfants ont fait.

Conclusion

Une évolution du RMSSD lors des exercices considérés comme difficiles a bien été notée, comme cela a été prouvé précédemment. Cependant, l'état émotionnel des enfants du groupe test et du groupe contrôle ne semblent pas être différents. Ainsi, l'expérience n'aurait pas réussi à provoquer un changement d'état émotionnel comme attendu. De plus, aucune corrélation entre l'état émotionnel et le RMSSD ou encore entre le RMSSD et les données de l'application n'a été prouvée. Aucun changement d'état émotionnel n'a donc été détecté au travers des données relevées sur le jeu.

De ce fait, cette expérience n'a pas montré que les variables du jeu utilisées permettait d'inférer sur un changement d'état émotionnel des joueurs. Pour autant, l'étude souffre de nombreux biais. En effet, ces derniers sont les suivants :

- Les enfants n'étaient pas dans des salles séparées : ils ont donc parfois parlé entre eux ce qui peut fausser le RMSSD
- Le temps d'enregistrement était court (environ 2 minutes) car les enfants ont réussi très vite les exercices : c'est à peine suffisant pour calculer un bon RMSSD
- Comme évoqué plus haut, comprendre quelle émotion correspond au ressenti que l'on a peut être compliqué pour un enfant entre 9 et 11 ans. Le questionnaire sur les émotions peut donc ne pas être très représentatif de l'état émotionnel de l'enfant
- Les enfants avaient un niveau supérieur à celui que nous aurions aimé testé. Bien que la partie difficile ait été adaptée, les exercices sont restés trop simples pour le niveau actuel des élèves, n'entraînant donc pas de stress particulier.
- Les individus que nous avons ne présentaient pas de difficultés particulières en mathématiques et n'étaient pas dyscalculiques : la gestion interne des erreurs et la vue des fractions peuvent donc être plus simples à gérer et ne pas induire de changement d'état émotionnel particulier.

Devant les différents biais relevés plus haut, plusieurs propositions d'améliorations pour continuer la recherches sont faites. Tout d'abord, un nouveau protocole expérimental peut être créé. Celui-ci devrait mieux prendre en compte les données relevées sur l'application, notamment le nombre de fois où un élève réussit un exercice et le nombre de fois où un exercice n'est pas terminé. En effet, le protocole proposé ici ne permettait pas aux élèves de rejouer à un niveau, ces données étaient donc nulles.

Ensuite, lors de la réalisation des expériences, disposer d'un espace plus contrôlé, notamment en séparant les élèves peut être fait. Cela permet d'éviter qu'ils parlent entre eux et ainsi éviter de fausser les données cardiaques mesurées. Bien que le résultat des RMSSD soit concluant, une précision accrue de celui-ci n'est pas négligeable.

De plus, le niveau des exercices doit être mieux adapté selon le niveau de maîtrise des élèves. Pour cela, il serait intéressant de proposer différents exercices (fractions très simples, équivalence de fractions, fractions avec des nombres au-dessus de 10...) qui sont chargés selon le niveau inscrit par l'élève lors de l'inscription sur l'application (CM1, CM2 par exemple).

Bibliographie

- Bourgeois, É., & Frenay, M. (2006). Les théories de l'apprentissage: un peu d'histoire. *Apprendre et faire apprendre*, 21-36.
- Boyle, E. A. & Al. (2016). An update to the systematic literature review of empirical evidence of the impacts and outcomes of computer games and serious games. *Computers & Education*, 94, 178-192.
- Cuisinier, F., & Pons, F. (2011). Emotions et cognition en classe.
- Dolcos, F., Wang, L., & Mather, M. (2014). Current research and emerging directions in emotion-cognition interactions. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 8, 83.
- Porges, S. W. (2007). The polyvagal perspective. *Biological psychology*, 74(2), 116-143.
- Russell, J. A., & Barrett, L. F. (1999). Core affect, prototypical emotional episodes, and other things called emotion : Dissecting the elephant. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76(5), 805-819.
https://www.researchgate.net/publication/12946116_Core_affect_prototypical_emotional_episodes_and_other_things_called_emotion_Dissecting_the_elephant
- Simonazzi, N. (2021). *Reconnaissance d'états émotionnels à partir des interactions avec un smartphone: Conception des méthodes et outils pour le domaine de la relation client* (Doctoral dissertation, Bordeaux).