
Rapport final

-

Île aux fractions



| Membres de l'équipe |
|---------------------|
| Audebert Alex |
| Biret Margo |
| Miele Andrea |
| Morando Emma |
| Pellegrin Noémie |

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Contexte du projet | 2 |
| Objectifs | 3 |
| Répartition et organisation | 5 |
| Lors du semestre 1 | 5 |
| Lors du semestre 2 | 5 |
| Réalisations | 7 |
| Lors du semestre 1 | 7 |
| Lors du semestre 2 | 8 |
| Finalisation du protocole et passation de l'expérience | 8 |
| Création du site | 10 |
| Analyse des passations | 11 |
| Bilan et perspectives | 16 |
| Bibliographie | 17 |
| Annexes | 18 |

I. Contexte du projet

Ce projet transdisciplinaire se déroule dans le cadre de l'UE Projet, ayant lieu en première année du cycle ingénieur de l'Ecole Nationale Supérieure de Cognitique de Bordeaux INP. Ce dernier fait suite à une demande de Mme Lidija Trifunovic, professeure à l'université de Niš en Serbie, réalisée durant l'année universitaire 2020-2021.

Son projet est de réaliser un jeu sérieux sur smartphone, nommé l'île aux Fractions, afin d'aider les enfants dyscalculiques dans l'apprentissage des fractions. Ces derniers nécessitent une prise en charge plus importante que des enfants neurotypiques car ils souffrent d'un trouble de l'apprentissage des mathématiques. Ceci peut alors être très pénalisant s'il n'est pas pris en charge correctement. Il se manifeste notamment par des difficultés à se représenter les nombres et leur sens (comparaisons, fractions), mais aussi à procéder et traiter les calculs (écrire les nombres, les reconnaître, apprendre les tables de multiplication).

L'application a aussi pour but d'aider les professeurs à aiguiller les élèves et identifier leurs difficultés pour personnaliser leur apprentissage, être plus attentif à leurs besoins. Enfin, les données récoltées grâce à l'application, stockées dans une base de données, pourront servir à des chercheurs pour de futures recherches sur la dyscalculie.

Ce projet fait suite à un travail commencé l'année dernière, qui a permis la création du jeu sérieux et son test sur une classe d'enfants non dyscalculiques. Les résultats sont encourageants, c'est pourquoi la cliente a formulé une nouvelle demande concernant le développement de cette application (cf. Objectifs).

II. Objectifs

Le projet "Île aux fractions" a pour objectif d'améliorer une application destinée aux élèves dyscalculiques et à leurs encadrants. Celle-ci est dotée de deux profils différents : un profil élève composé de plusieurs mini-jeux autour des fractions et un profil enseignant permettant aux professeurs de suivre l'avancement de leurs élèves (mini-jeu réussi, nombre de demandes d'aide, temps ...).

Nous disposons de 8 mois pour améliorer cette application et la tester. Pour cela, plusieurs objectifs sont à atteindre :

- Corriger les bugs détectés à l'utilisation (problème dans les consignes, problèmes d'affichages),
- Améliorer l'utilisation de l'application :
 - Mettre de la musique,
 - Ajouter des boutons de retour en arrière,
- Mesurer le changement émotionnel de l'élève utilisant l'application
 - Tester les élèves sur l'application existante (créer un protocole expérimental, contacter des écoles, faire des passations),
- Modifier la base de données pour récolter les données comportementales nécessaires à l'évaluation de l'état émotionnel de l'élève,
- Connaître l'avis des parents/professeurs sur l'utilisabilité du jeu à travers la diffusion d'un questionnaire.

Deux plannings prévisionnels ont été élaborés, un en début de projet pour les tâches à réaliser durant le premier semestre et un pour le second semestre. Pour la première partie, ces tâches sont :

- L'écriture du cahier des charges,
- La recherche d'informations sur la mesure de l'état émotionnel du joueur afin de faire évoluer le jeu,
- La mise à jour de l'application,
- La prise de contact extérieur,
- La rédaction d'un protocole expérimental.

Le deuxième planning se compose de :

- La rédaction d'un questionnaire à destination des instituteurs,
- La création et la récolte du matériel expérimental nécessaire à l'expérience,
- La passation de l'expérience auprès d'enfants,
- L'analyse des résultats de l'expérience et la proposition de solutions d'améliorations de l'application.

III. Répartition et organisation

A. Lors du semestre 1

Tout d'abord, différents rôles ont été répartis au sein du groupe. Ces derniers pouvaient changer à tout moment si le besoin s'en faisait ressentir. Par conséquent, Andrea gérait la communication extérieure, Alex était la gestionnaire des risques, Emma avait le rôle de gestionnaire de planning, Noémie veillait à ce que l'on ne s'éparpille pas lors des réunions et Margo s'occupait de la prise de note à chaque réunion.

Des réunions régulières étaient organisées pour faire un point sur l'avancée du projet et définir les étapes suivantes. Nous nous sommes appuyés sur un échéancier (cf. Annexe 1) créé au début du projet et remis à jour en fonction des échanges avec des professionnels, du temps disponible et des changements d'objectifs. Également, un carnet de bord sur lequel nous expliquons les principales décisions prises et les étapes importantes du projet a été réalisé.

Enfin, deux pôles de travail ont été constitués selon les affinités et compétences de chacun. Le premier pôle avait pour but de prendre contact avec les écoles et organisations en vue des passations ; faire un état de l'art sur les techniques permettant de relever l'état émotionnel de l'élève à l'aide du jeu ; rédiger un protocole expérimental pour les passations du second semestre. Emma, Andrea et Noémie sont les personnes appartenant à ce pôle. Le deuxième, plus technique, était chargé de mettre à jour l'application en corrigeant les bugs remarqués et en ajoutant les éléments demandés par la cliente. Nous avons positionné deux personnes sur ce pôle : Alex et Margo.

Chaque pôle s'est donc organisé en interne afin de se répartir les différentes tâches et de travailler plus efficacement.

B. Lors du semestre 2

Tout d'abord, nous avons commencé par rééditer un échéancier pour le semestre, n'ayant pas encore réfléchi à ce dernier jusqu'alors (cf. Annexe 2). Ensuite, à l'aide du cours sur la gestion de projet, nous avons cherché et réussi à maintenir une réunion par semaine

tout au long de ce semestre. Ces réunions hebdomadaires nous ont permis de tous nous tenir au courant de l'avancée de chaque pôle.

De plus, les différents rôles distribués à chacun ont été maintenus, mais les pôles ont été remaniés après la passation expérimentale. En effet, Andrea et Noémie, tous deux intéressés par le pôle plus technique se sont penchés sur la création du site web. Celui-ci permet de partager les informations sur le projet et nos résultats d'expérience. Alex, Emma et Margo, quant à elles, se sont occupées de l'analyse des résultats.

Durant ce semestre, nous avons fait face à moins de risques que dans la première partie du projet. En effet, nous avons identifié seulement deux risques. Le premier étant un problème de matériel lors des passations et le second était lié aux données. Le risque d'ordre matériel est apparu car une des ceintures cardiaques n'a pas fonctionné le jour des passations. Nous en avons prévu une de plus, ce risque n'a donc pas eu de conséquences. Quant aux données, elles auraient pu être insuffisantes ou inexploitable. Au final, bien que nous ayons récolté peu de données, nous avons pu réaliser les analyses statistiques (cf. IV.B.3. Analyse des passations) .

IV. Réalisations

A. Lors du semestre 1

Suite aux objectifs de la cliente, le pôle de recherche sur les émotions s'est concentré sur les variables et méthodes existantes pour mesurer l'état émotionnel d'un individu avec un téléphone. A l'aide des recherches et de plusieurs rendez-vous avec des professionnels, nous avons découvert que plusieurs capteurs étaient déjà utilisés, tels que la caméra ou le micro du téléphone. Cependant, divers problèmes de fiabilité des mesures se sont posés. En effet, selon l'environnement dans lequel le portable est utilisé, les variables mesurées peuvent varier grandement, ce qui rend l'analyse de l'état émotionnel du joueur très difficile.

En outre, après une autre entrevue avec l'une de nos professeurs, le choix a été de mesurer un changement d'état émotionnel chez les joueurs. Ceci permet de ne pas se baser sur des valeurs standards, ce qui rendrait impossible l'adaptation de l'application à divers joueurs. De ce fait, notre nouvel objectif, en accord avec la cliente, était de trouver les variables de jeu corrélées à un changement d'état émotionnel.

La suite a donc consisté à chercher dans la littérature scientifique les modèles et théories caractérisant les émotions. Au final, nous avons choisi le modèle de Russell (1980, cité dans Hamdi, 2012) qui représente les émotions selon leur niveau de valence, c'est-à-dire qu'elles sont jugées agréables ou désagréables, et leur intensité (cf. Figure 1). L'état émotionnel d'un participant a donc été défini comme positif dans un apprentissage si le nombre et l'intensité des émotions "positives" est supérieur à celui des émotions "négatives". Pour finir, nous avons choisi d'utiliser des ceintures cardiaques pour avoir une mesure fiable de l'état cognitif et émotionnel de nos sujets.

Le protocole expérimental a pu être rédigé, accompagné d'une présentation du projet à destination des professeurs et parents d'élèves. Également, un formulaire de consentement a été écrit afin de respecter la loi en vigueur concernant les expériences sur les personnes.

D'autre part, le pôle technique s'est concentré sur la mise à jour de l'application. Pour ce faire, plusieurs étapes ont été suivies. La première était de récupérer le code, les accès à

la base de données et de prendre en main le logiciel Unity. La seconde a consisté à résoudre les bugs remarqués lors de nos tests (cf. Figure 2). Puis, la dernière étape était d'implémenter les fonctionnalités demandées par la cliente telles que la possibilité de rejouer à un niveau ou d'avoir une musique en fond sonore.

B. Lors du semestre 2

1. Finalisation du protocole et passation de l'expérience

Suite à l'écriture du protocole de test et des formulaires de consentement, il restait à trouver des participants. Ainsi, le cercle de recherche a été élargi et plusieurs écoles sur les communes avoisinant Talence ont été contactées. Après quelque temps, une réponse a été obtenue de la part d'une école primaire de CM2 à Bordeaux. Après concertation avec l'enseignante, nous avons convenu d'une date de passation de l'expérience, le 17 mars après-midi. Nous n'avons pas obtenu d'autres réponses par la suite, ainsi nous ne disposons des données que d'une seule classe de 18 élèves ayant une bonne maîtrise des fractions.

Ensuite, il restait à préparer le matériel pour la passation de l'expérience. De ce fait, nous avons cherché le questionnaire d'évaluation des émotions convenant le mieux à notre définition des émotions. Après plusieurs recherches, celui le plus adapté à la théorie de Russell (1980, cité dans Hamdi, 2012) et à des enfants ayant entre 8 et 10 ans s'est avéré être la Geneva Emotion Wheel (GEW). Cette dernière reprend la roue des émotions comme présentée par Russell avec divers niveaux d'intensité de l'émotion. Elle a été imprimée en français depuis le site de l'université de Genève afin de ne pas biaiser les résultats en réalisant une mauvaise traduction du nom des émotions (cf. Annexe 3). Plusieurs moyens existent pour l'utiliser. Dans notre cas, nous avons choisi de laisser la possibilité au participant de renseigner une à trois émotions qu'il ressentait. Nous estimons qu'un sujet pouvait être trop restreint par le choix d'une seule émotion mais qu'au-delà de trois émotions, il estimait de manière incorrecte ou peu précise son état émotionnel.

De plus, les ceintures cardiaques ont été empruntées à l'ENSC et fournies par Monsieur Jean-Marc André. Ces dernières ont été utilisées en association avec l'application EliteHRV, présentée en TD de physiologie. Les vidéos neutres ont été trouvées en ligne et concernaient des documentaires animaliers.

Le jeu a également été modifié afin de pouvoir mesurer les variables comportementales paraissant intéressantes à analyser. Après plusieurs recherches et concertations avec des professeurs, nous nous sommes concentrés sur le nombre d'erreurs, le temps de réalisation d'un exercice, le nombre de clics sur le bouton aide, le nombre de fois qu'un exercice est recommencé ou qu'il est abandonné. Ces deux dernières mesures n'ont pas été testées au cours de l'expérience mais elles semblent pertinentes dans le cas d'un usage répété de l'application. En effet, un élève ayant abandonné plusieurs fois et ne réussissant pas le jeu se trouvera dans un état émotionnel négatif pour son apprentissage. Dans ces cas, l'application devrait être en mesure de le détecter et, par la suite, de s'adapter. En outre, le dernier niveau d'exercices du jeu a subi une modification afin de créer un exercice de niveau difficile. En effet, nous avons appris que les élèves de CM2 maîtrisent le concept des fractions et apprennent à convertir des fractions équivalentes. Par exemple, ils découvrent que la fraction $\frac{1}{2}$ et $\frac{2}{4}$ sont égales numériquement. C'est pourquoi dans le dernier exercice, l'objectif des élèves était de trouver la fraction équivalente à celle présentée à l'écran. Les chiffres au numérateur et dénominateur étaient représentés par un nombre de formes égal à ce dernier (cf. Figure 4).

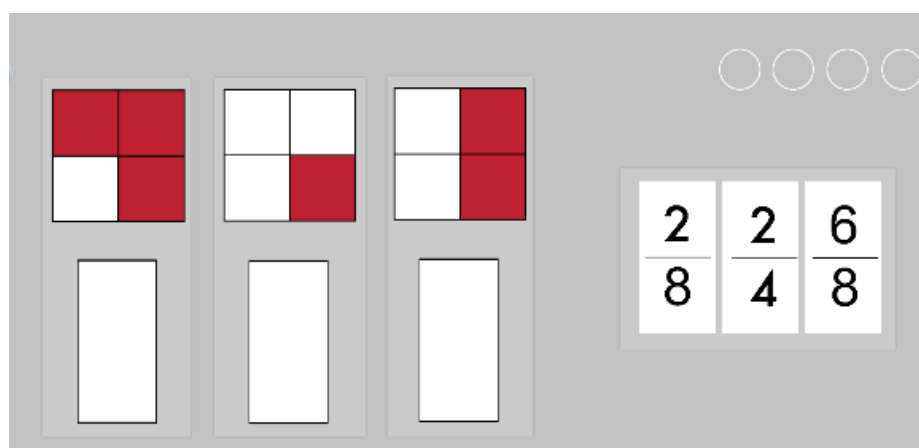


Figure 4 : Capture d'écran d'un exercice du niveau 3

La dernière étape de préparation du matériel était la réalisation de grilles d'observations, à l'aide du logiciel Google Sheet, afin de faciliter la prise de notes lors de l'expérience. Chaque observateur disposait d'une feuille dans laquelle il renseignait les données et observations faites sur les participants. Dans cette feuille, les sujets étaient anonymisés par un numéro prédéfini.

L'expérience s'est déroulée le jeudi 17 mars à l'école du Vieux Bordeaux. La salle mise à disposition par l'établissement pour la réalisation de l'expérience était une bibliothèque calme et éloignée des autres classes de l'école. Tour à tour, trois participants se présentaient pour réaliser l'expérience puis étaient renvoyés dans leur classe pour prévenir le groupe suivant. Un seul souci technique est apparu, l'une des ceintures était déchargée mais cela n'a empêché la récolte des données que pour une élève.

Le détail du protocole expérimental est à retrouver sur le site de notre projet, mais une brève présentation est faite ici. Tout d'abord, nous donnions les consignes aux participants et vérifions que la ceinture cardiaque ne les gênait pas. Ils devaient faire en sorte de parler le moins possible pour ne pas perturber les mesures et nous "oublier" le plus possible, même s'ils pouvaient appeler quelqu'un à tout moment en cas de problème. Ensuite, trois phases se succédaient. La première consistait en un visionnage d'une vidéo neutre pendant cinq minutes. Puis, les élèves réalisaient des exercices de niveau simple sur l'application (partie 1 et 2). Enfin, selon leur groupe de passage, ils regardaient de nouveau une vidéo ou jouaient à un niveau difficile du jeu. De plus, au début, entre chaque phase et à la fin de l'expérience les élèves remplissaient le questionnaire d'état émotionnel. La première phase sert de calibrage à nos mesures, les variations cardiaques étant très différentes entre les sujets et nécessitant un niveau de comparaison contrôle pour effectuer nos analyses. Également, la séparation aléatoire en deux groupes nous permet de disposer d'un groupe test et d'un groupe contrôle. Nous réalisons que la quantité de données dont nous disposons est faible mais nous espérons en tirer des résultats avec les analyses statistiques.

2. Création du site

Concernant la création du site, nous avons choisi de nous concentrer sur le front-end, car le back-end n'apportent pas ici de grand intérêt au site.

Une première phase de maquettage a été faite, avec le choix des couleurs, de la police ainsi que la conception du plan du site.

Il a été réalisé "from scratch" en HTML/CSS/JS. Un framework Javascript a aussi été utilisé : LocomotivJS. Il permet de rendre le "scroll" de la page plus doux et de réaliser

quelques animations (comme celle sur la page d'accueil par exemple). De plus, le CSS a été entièrement réalisé à la main, sans l'utilisation de framework comme Bootstrap.

Une fois le squelette du site fait, et la partie code terminée, nous nous sommes concertés afin d'écrire les différents paragraphes et parties du site. Il a ensuite été mis en ligne sur un hébergeur web afin de pouvoir être consulté plus aisément.

3. Analyse des passations

a) Calcul RMSSD

Nous avons commencé par calculer les RMSSD (Root Mean Square of the Successive Differences) des différents participants. Le RMSSD est la moyenne quadratique des différences successives de la fréquence cardiaque. Il permet de mesurer l'état cognitif et émotionnel d'une personne. Dans notre cas, nous cherchons à détecter un changement d'état émotionnel à travers les variations de cette mesure. Pour calculer le RMSSD, le logiciel matlab et les données cardiaques des sujets ont été utilisés (cf. Figure 5).

```
valueboard = readmatrix('Données/Participant36_3.txt');

% trouver les pics
[pks,locs]=findpeaks(valueboard(:,1),'MinPeakDistance',10);
% distance entre les pics = intervalle RR
[ecart]=diff(locs);
% somme des carrés des différences entre les intervalles RR
[sumIntervalRR]=0;
for i = 2:size(ecart)
    sumIntervalRR= sumIntervalRR + (ecart(i)-ecart(i-1))^2;
end
% division par n
[severalDiff]=sumIntervalRR/size(ecart,2);
% racine carrée qui donne le RMSSD
[rmssd]=sqrt(severalDiff);
```

Figure 5 : aperçu du code Matlab

Ainsi le calcul du RMSSD pour chaque participant et chaque étape de l'expérience a été réalisé.

Ensuite, les analyses statistiques descriptives classiques ont été effectuées (moyenne, écart-type). Cela permet de vérifier que les données relevées sont significatives et utilisables. Par la suite, nous avons réalisé différents tests d'hypothèses entre les deux

groupes de participants. Nous avons choisi d'effectuer ces derniers en considérant la différence de RMSSD entre la partie 1 (qui correspond au moment où les participants regardaient une vidéo neutre et qui était commune à tous) et la partie 3 (qui différait selon le groupe test et le groupe contrôle). En effet, le RMSSD étant propre à chaque individu, les comparer n'aurait pas eu de sens. Le logiciel R a été choisi pour réaliser ces tests (cf. Annexes 4 et 5).

Il faut savoir qu'un test d'hypothèse est une procédure de décision entre deux hypothèses. Il s'agit d'une démarche consistant à rejeter ou à ne pas rejeter une hypothèse statistique, appelée hypothèse nulle, en fonction d'un échantillon de données.

Dans notre cas nous avons testé les hypothèses suivantes:

- La moyenne des RMSSD du groupe contrôle est **égale** à celle du groupe test
- La moyenne des RMSSD du groupe contrôle est **inférieure** à celle du groupe test

Les résultats obtenus nous ont permis de rejeter l'hypothèse de l'égalité et de confirmer la seconde. Ainsi, la conclusion est qu'il existe effectivement une différence significative entre les deux jeux de données et que 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 variation du RMSSD. Pour autant, nous ne savons pas à quoi ce changement est lié en regardant seulement les RMSSD. Nous pouvons supposer, d'après nos connaissances, que l'activité cérébrale est plus élevée lorsque le RMSSD est plus élevé et il est généralement plus faible lorsque le sujet stresse. Afin de savoir si c'est le cas ici nous allons essayer de corréler le résultat du RMSSD à celui des questionnaires émotionnels que nous avons fait passer.

b) Corrélation des résultats

Afin de détecter un changement d'état émotionnel, nous avons utilisé le résultat des questionnaires remplis par les participants entre chaque partie des passations. Les calculs des mesures statistiques usuelles ont été faits et nous avons tracé des boxplots afin de visualiser ces données et réaliser des tests.

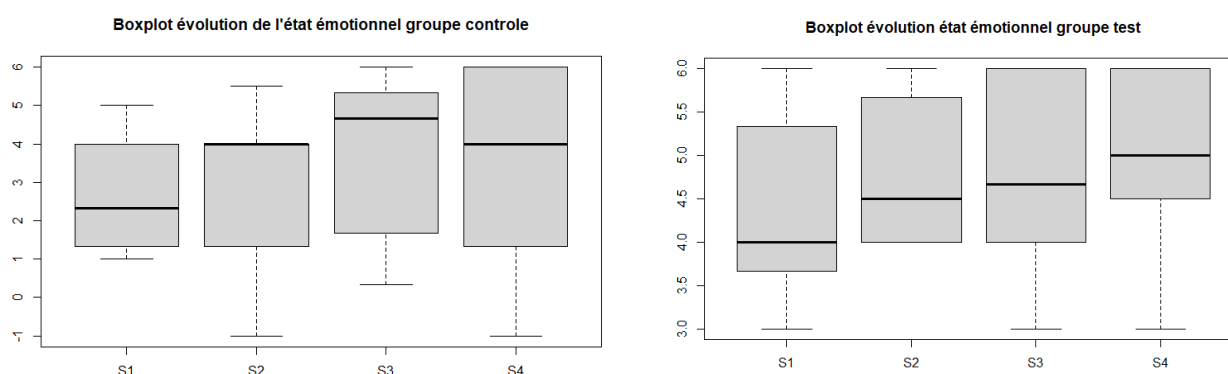


Figure 6 : Boîtes à moustaches des états émotionnels pour le groupe test et contrôle

Deux échantillons de données ont été créés, ils représentent la différence des résultats du questionnaire émotionnel entre la fin de la passation (donc après la troisième partie qui diffère selon les groupes) et après avoir regardé la vidéo neutre (commune à tous les groupes).

D'après les résultats des tests d'hypothèses (accessibles en annexe 5) nous ne pouvons pas conclure à une différence significative de changement d'état émotionnel entre les deux groupes. 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. 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 nous expliquions les mots qu'ils ne comprenaient pas, il est difficile de se représenter une émotion sans la connaître véritablement. 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, nous avons souhaité voir s'il existait des corrélations entre le RMSSD et les données de l'application. Pour cela, nous avons réutilisé la différence de RMSSD entre la partie 3 et la partie 1 que nous avons essayé de corrélérer à la différence du nombre d'erreurs entre la partie 3 et la partie 1 et 2. Nous avons obtenu le graphique suivant :

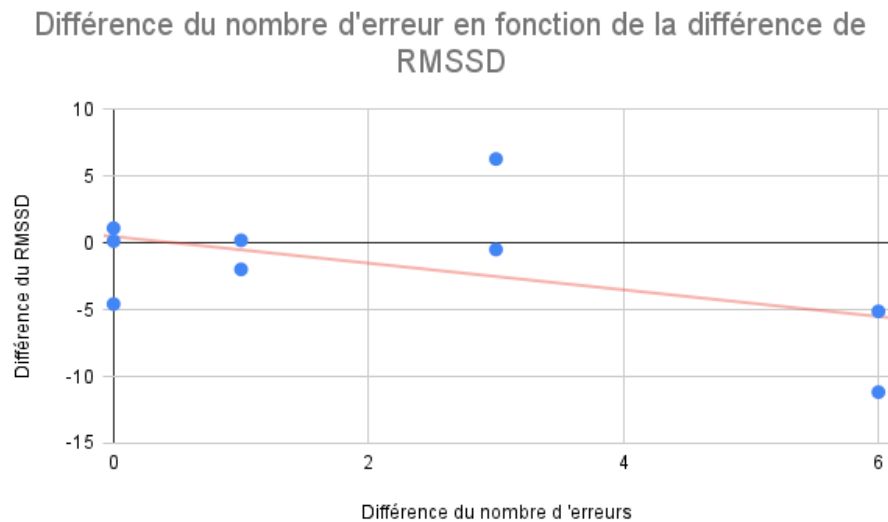


Figure 6 : Représentation graphique de la différence de RMSSD sur la différence du nombre d'erreurs

Nous avons également calculé le coefficient de corrélation linéaire entre ces deux variables : $r_n = \frac{cov(x,y)}{\sigma_x \sigma_y}$ en prenant ici x = la différence de RMSSD et y = la différence du nombre d'erreurs. On obtient $r_n = \frac{-5,278296296}{2,43812314 \cdot 4,874840869} = -0,444096843$. Cela correspond à une légère corrélation linéaire décroissante, mais devant le graphique et le peu de données que nous avons nous ne pouvons malheureusement pas conclure que cette corrélation est significative.

Ensuite, nous avons cherché s'il existait une corrélation entre le temps de réalisation de l'exercice facile et du RMSSD associé. Voici le graphique obtenu :

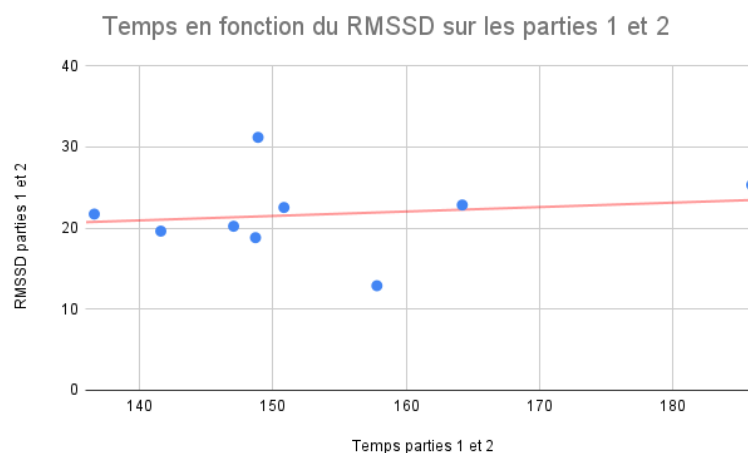


Figure 7 : Représentation graphique du RMSSD sur le temps de réalisation des parties 1 et 2 du jeu (exercice facile)

Malgré la pente très faible nous avons calculé le coefficient de corrélation linéaire :

$$r_n = \frac{\text{cov}(x,y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{10,34483123}{14,56816916 * 4,972060835} = 0,1428176887. \text{ Cette valeur étant très éloignée}$$

de 1, nous pouvons dire qu'il n'y a pas de corrélation linéaire entre le RMSSD et le temps réalisé sur les parties 1 et 2.

Nous avons réalisé la même chose entre le temps et le RMSSD de la partie 3 :

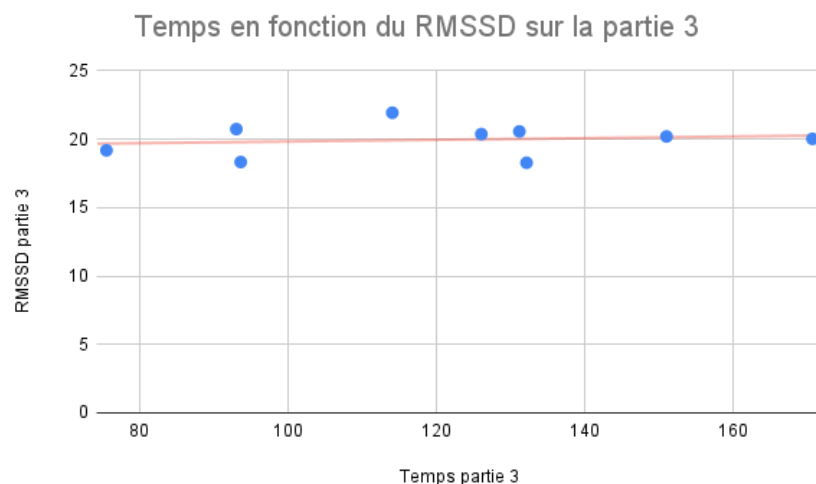


Figure 8 : Représentation graphique du nuage de points du RMSSD en fonction du temps de réalisation de l'exercice difficile

Ici, la pente de la droite est suffisamment équivoque pour réaliser qu'il n'y a pas de corrélation linéaire entre le RMSSD et le temps de réalisation de l'exercice difficile.

De ce fait, l'analyse de nos données a montré qu'un exercice plus dur entraîne bien une augmentation du RMSSD. Cependant, aucune corrélation entre l'état émotionnel et le RMSSD, ou encore entre le RMSSD et les données de l'application, n'a été prouvée. Ainsi, aucun changement d'état émotionnel n'a été détecté au travers des données relevées sur le jeu.

Avec du recul de nombreux biais sont en jeu lors des passations des expériences :

- 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 rapidement les exercices : c'est à peine suffisant pour calculer un 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 ne pas être 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 ou d'émotion négative particulière ;
- 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.

V. Bilan et perspectives

Concernant le travail effectué au second semestre, il se situe dans la continuation de celui fait lors du premier semestre. A l'aide de la recherche active d'écoles supplémentaires, nous avons pu réaliser une expérience à l'école du Vieux Bordeaux avec une classe de CM2. De plus, la fin de la rédaction du protocole a été réalisée et le matériel expérimental a aussi été créé ou recherché. A la suite de ces passations, une analyse statistique des résultats a été effectuée, suivie de la rédaction d'un compte-rendu expérimental présentant les résultats. En parallèle, le site web a été créé.

Les analyses statistiques réalisées montrent que la corrélation entre les données comportementales et émotionnelles ne semble pas probante. Cela peut s'expliquer par de nombreux biais comme le niveau de maîtrise des fractions des élèves, le manque de difficulté dans nos exercices et le nombre de données très faible. Tout ceci empêche d'aboutir à une conclusion définitive sur la non corrélation entre les différentes variables. Ainsi, une suite du projet serait de réaliser de nouvelles expériences avec des participants de CM1 et de CM2 en plus grand nombre et des enfants étant dyscalculiques. De cette manière, des propositions de solutions d'améliorations de l'application pourront émerger afin qu'elle puisse ensuite s'adapter aux réactions de l'enfant. Également, la réalisation d'une autre expérience, dans un environnement plus contrôlé et permettant l'utilisation de toutes les métriques d'intérêts du jeu est à considérer.


Au niveau global, ce projet a permis à toute l'équipe d'utiliser les connaissances acquises lors de cette année en programmation, gestion de projet, analyses statistiques, présentation orale d'un travail, ... De plus, beaucoup d'autres compétences ont été apprises telles que la programmation sur Unity, la méthodologie expérimentale à travers toutes les étapes de vie d'une recherche, le travail de groupe et ses enjeux, la gestion et communication avec un client externe. De ce fait, nous tirons un bilan positif de ce projet transdisciplinaire.

Bibliographie

- Beaudoin-Gagnon, N. (2020). *Entraînement d'un modèle supervisé pour la détection du plaisir en contexte de jeu vidéo à partir de signaux physiologiques et d'indices comportementaux*. <https://corpus.ulaval.ca/jspui/handle/20.500.11794/66324>
- Hamdi, H. (2012). *Plate-forme multimodale pour la reconnaissance d'émotions via l'analyse de signaux physiologiques : Application à la simulation d'entretiens d'embauche* [Phdthesis, Université d'Angers]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00997249>
- Poncin, I., & Herrmann, J.-L. (2015). *Les réactions affectives du consommateur : Ces raisons du coeur que la raison ignore: Mélanges en l'honneur du Professeur Christian Derbaix*. Presses universitaires de Louvain.

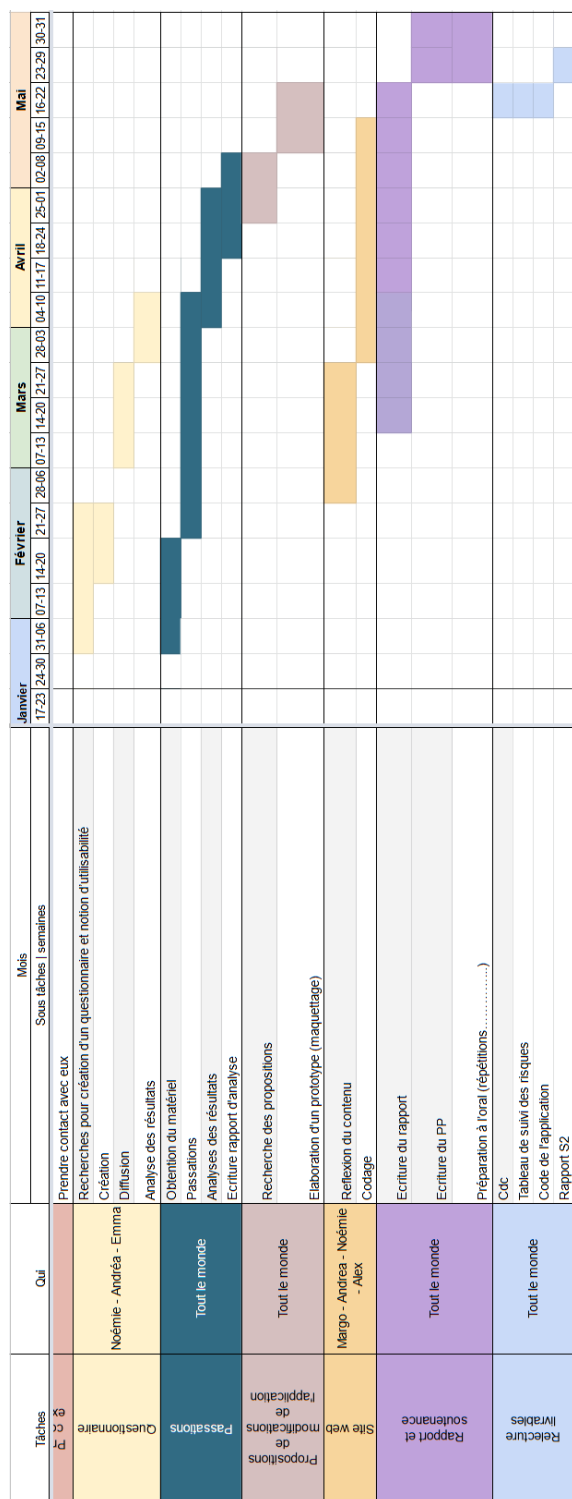
Annexes

Annexe 1 - Echancier V0

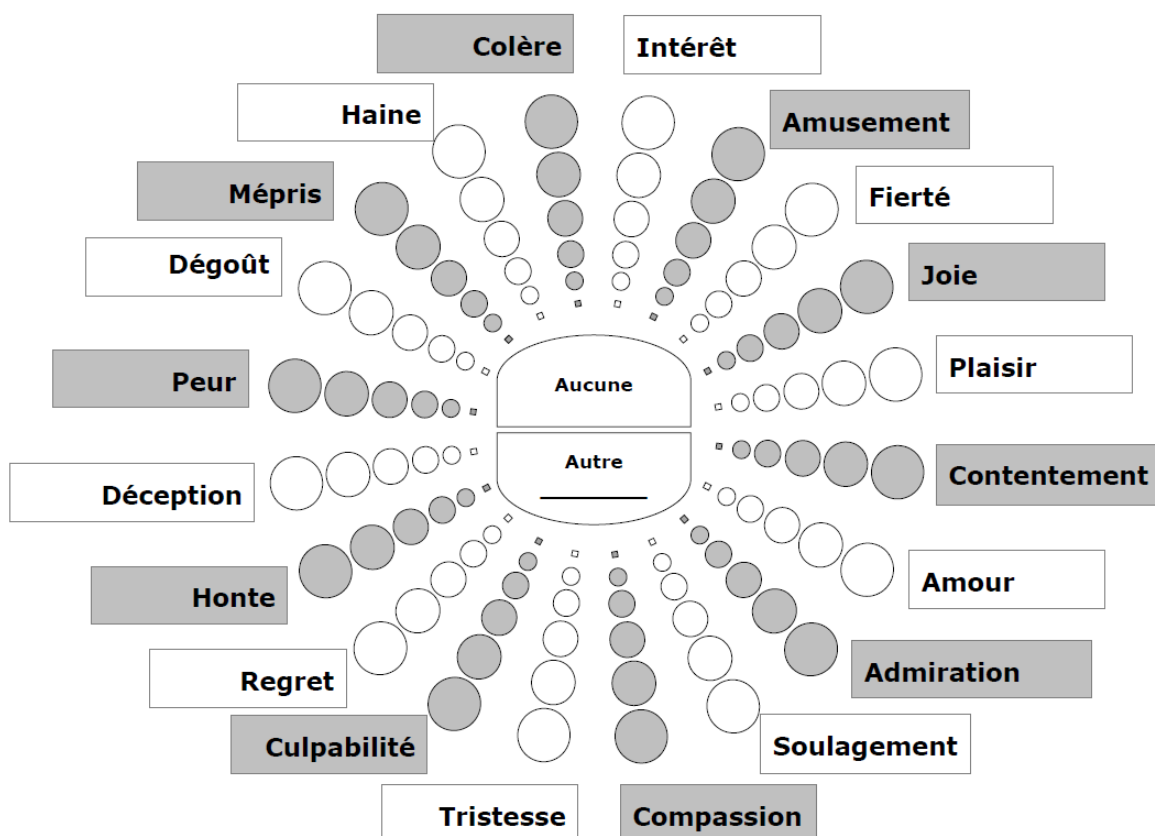
Un aperçu de l'  EchancierV0 est disponible ci-dessous mais il est entièrement accessible à travers le lien contenu dans la phrase.

| Qui | Mois Sous tâches semaines | Octobre | Novembre | | | Décembre | | | | | |
|------------------------|--|---------|----------|------|-------|----------|------|------|-------|-------|-------|
| | | 25-31 | 1-7 | 8-14 | 15-21 | 22-28 | 29-5 | 6-12 | 13-19 | 20-26 | 27-02 |
| Tout le monde | Ecriture du CdC 1er version | | | | | | | | | | |
| | Ecriture du CdC 2ème version | | | | | | | | | | |
| | Corrections | | | | | | | | | | |
| Noémie - Andréa - Emma | Rencontre avec des professionnels | | | | | | | | | | |
| | Recherches sur les outils existants + les variables à mesurer | | | | | | | | | | |
| | Ecriture état de l'art | | | | | | | | | | |
| | Maquettage | | | | | | | | | | |
| | Programmation d'un prototype | | | | | | | | | | |
| Alex - Margo | Test du prototype | | | | | | | | | | |
| | Corrections éventuelles | | | | | | | | | | |
| | Correction des bugs | | | | | | | | | | |
| | Ajout de la musique | | | | | | | | | | |
| | Maquettage | | | | | | | | | | |
| Alex - Margo - Noémie | Ajout de la possibilité de revenir sur un niveau déjà fait (plus prise en compte du nombre de fois où l'élève effectue le niveau) | | | | | | | | | | |
| | Prise en main de FireBase | | | | | | | | | | |
| | Gestion de la BDD | | | | | | | | | | |
| Andréa - Margo - Emma | Mise en ligne de la BDD (sous forme de ?) | | | | | | | | | | |
| | Rechercher des assos/écoles | | | | | | | | | | |
| | Recherches des écoles | | | | | | | | | | |
| | Prendre contact avec eux | | | | | | | | | | |

De même, un aperçu de l' [+ EchancierV1](#) est disponible ci-dessous mais il est entièrement visible via le lien contenu dans la phrase.



Annexe 3 - Geneva Emotion Wheel en français



Annexe 4 - Tests d'hypothèses RMSSD

```

> #Nous avons réalisé un test de shapiro afin de déterminer
> # si nos échantillons suivent une loi normale
> shapiro.test(ech)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  ech
W = 0.97759, p-value = 0.9507

> shapiro.test(ech2)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  ech2
W = 0.93515, p-value = 0.5319

> #Les p-value sont plus grande que 0,05, ainsi,
> #les échantillons suivent une loi normale
>
> # Nous avons ensuite testé les hypothèses :
> #H0="La différence du RMSSD est égale pour le groupe contrôle et le groupe test"
> #H1="La différence du RMSSD est différente pour le groupe contrôle et le groupe test"
> t.test(ech,ech2,mu=0,alternative = "two.sided",conf.level = 0.95,var.equal=F)

      Welch Two Sample t-test

data:  ech and ech2
t = -2.0808, df = 10.002, p-value = 0.06411
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -12.2653266  0.4193266
sample estimates:
 mean of x  mean of y
-4.9917778  0.9312222

> # L'hypothèse H0 n'est pas rejetée, car la p-value = 0.06 > 0.05
> # La moyenne de l'échantillon ech semble égale à celle de l'échantillon ech2
>
> # Nous avons ensuite testé avec l'hypothèse H1 :
> #H1="La différence du RMSSD est inférieure pour le groupe contrôle et le groupe test"
> t.test(ech,ech2,mu=0,alternative = "less",conf.level = 0.95,var.equal=F)

      Welch Two Sample t-test

data:  ech and ech2
t = -2.0808, df = 10.002, p-value = 0.03205
alternative hypothesis: true difference in means is less than 0
95 percent confidence interval:
      -Inf -0.7638521
sample estimates:
 mean of x  mean of y
-4.9917778  0.9312222

> # L'hypothèse H0 est rejetée, car la p-value = 0.03 < 0.05
> # La moyenne de l'échantillon ech est inférieure à celle de l'échantillon ech2

```

Annexe 5 - Tests d'hypothèses sur les émotions

```
> #vecteur contenant les valeurs de la partie 3 - partie 1 du groupe test
> ech <- c(0.167,1,1.667,0,333,0,0.5,-0.5,-3,1)
>
> #vecteur contenant les valeurs de la partie 3 - partie 1 du groupe controle
> ech2<-c(0,0.667,1.333,0,-1,1.667,0,2,0.5)
> mu0=mean(ech2)
>
> res<-t.test(ech,mu=mu0,alternative = "two.sided",conf.level = 0.95)
> print(res)
```

One Sample t-test

```
data: ech
t = 0.98547, df = 9, p-value = 0.3501
alternative hypothesis: true mean is not equal to 0.5741111
95 percent confidence interval:
 -41.93084 108.69764
sample estimates:
mean of x
 33.3834

> #p-value=35%>5%
> #==> Hypothèse conservée --> les deux moyennes sont égales
```