

Rapport projet - Aide apprentissage piano

Loris Floquet, Juliette Louistisserand, Tom Boudard, Sibylle Ducroizé

Janvier 2024

Contents

1	Introduction	2
1.1	Contexte	2
1.2	Objectif	2
1.3	Étude a priori	2
2	Solution proposée	3
2.1	Travaux précédents	3
2.2	Valeur ajoutée	3
3	Réalisation technique	3
3.1	Vue globale	4
3.2	Problèmes rencontrés et solutions	4
3.2.1	Constantes arbitraires	4
3.2.2	Lecture de fichiers MIDI et inputs clavier	5
3.2.3	Son de piano	5
3.3	Arrêt des notes	5
3.4	Score	5
4	Évaluation du système	6
4.1	Résumé du protocole d'évaluation	6
4.2	Fonctions de score	6
4.2.1	Score live	6
4.2.2	Score pause	6
4.3	Attentes	6
4.4	Résultats quantitatifs	7
4.4.1	Résultats non normalisés	7
4.4.2	Résultats normalisés	7
4.5	Avis récoltés	9
4.5.1	Questionnaire de retours	9
4.5.2	Retours autres	9
5	Conclusion	10
A	Protocole d'évaluation	11
A.1	Introduction	11
A.2	Sélection des participants	11
A.2.1	Utilisateur type	11
A.2.2	Participants	11
A.3	Métrique utilisée	11
A.4	Protocole	11
A.5	Retours informels	12
B	Démonstrations	13

1 Introduction

1.1 Contexte

Les personnes qui veulent commencer à apprendre le piano peuvent être découragées par la complexité de la lecture d'une partition et du jeu simultané.

1.2 Objectif

Notre objectif était donc d'éliminer cet obstacle afin de donner confiance aux débutants en leur proposant un support ludique permettant d'entendre des résultats encourageants dès les premières répétitions.

1.3 Étude a priori

Afin de juger de l'utilité de notre proposition, il était nécessaire de connaître l'approche privilégiée pour apprendre à jouer un morceau au piano. Nous avons donc réalisé un sondage sur 41 personnes, majoritairement étudiantes et débutantes.

Nous avons ainsi obtenus les résultats de la figure 1.

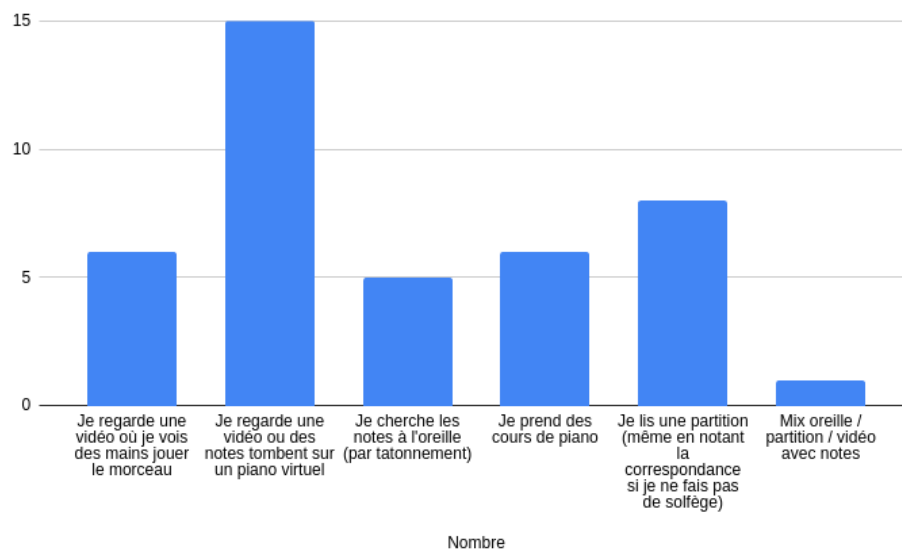


Figure 1: Sondage sur la méthode d'apprentissage privilégiée

Pour être plus précis, nous avons aussi demandé le niveau en piano et en solfège sur une échelle de 1 à 5 estimée par les participants au sondage. Cela permet donc de cibler plus précisément les préférences des débutants qui sont notre cible principale pour cette étude.

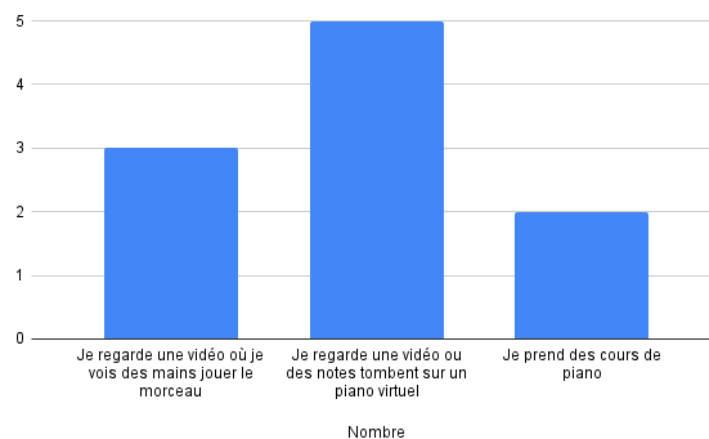


Figure 2: Sondage sur la méthode d'apprentissage privilégiée par des débutants (niveau 1-2 en piano et solfège)

On a donc ici 80% des débutants interrogés qui privilégient une vidéo pour apprendre un morceau au piano et 50% en particulier des vidéos où des notes tombent sur un piano virtuel.

Cette approche étant privilégiée, cela nous a ainsi renforcé dans notre idée que de proposer une version améliorée et plus immersive serait pertinent.

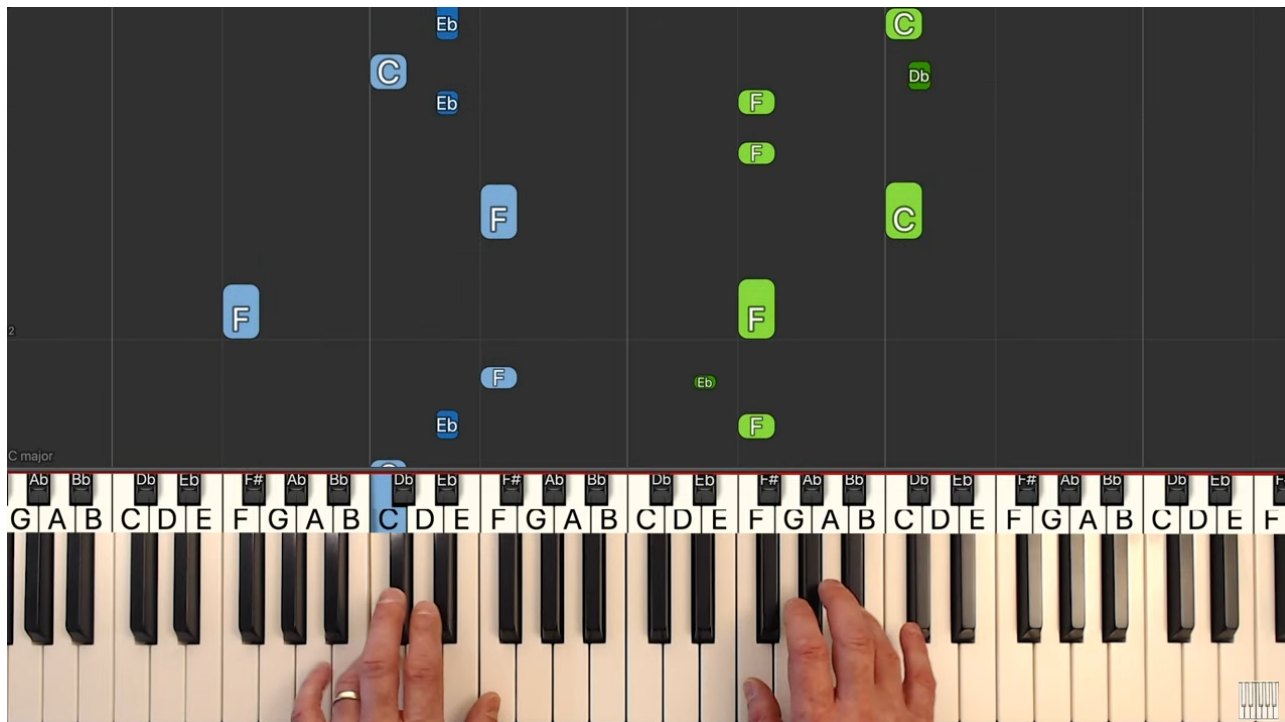


Figure 3: Tutoriel de piano sur youtube

2 Solution proposée

Nous avons donc décidé d'élaborer une solution qui enrichisse l'expérience que l'on considère donc standard qui est de regarder une vidéo tutorielle et d'essayer de le transposer au jeu sur son piano.

2.1 Travaux précédents

D'autres groupes avaient déjà réalisé un projet qui visait à projeter les notes d'une musique sur un clavier de piano.

D'une part, cela permet d'enlever la difficulté de lire une partition. En effet, c'est le système qui se charge de lire le morceau et l'utilisateur lit une information plus simple : un rectangle aligné avec la touche qui doit être jouée, dont la position donne le départ, et la longueur la durée.

D'autre part, en projetant ces rectangles directement au dessus du piano, on enlève l'étape de transposition du support d'information au clavier, présente tant pour la lecture de partitions que pour la vidéo tutorielle.

2.2 Valeur ajoutée

La valeur ajoutée de notre projet a donc été de créer un mode de jeu qui arrête le défilement des notes tant qu'elles n'ont pas été jouées par l'utilisateur. En effet, il est difficile pour un débutant de se préparer à jouer la prochaine note à temps, ou même pire de jouer plusieurs notes à la fois. Ainsi, avec des méthode de défilement continu, l'utilisateur peut se sentir débordé.

3 Réalisation technique

Notre application se veut la plus flexible possible. Il est donc possible de mettre en entrée n'importe quel fichier MIDI (format de fichier standard pour la communication de données en musique, plus de détails [ici](#)) qui est ensuite transformé en projection par le code. Il est aussi possible de changer la taille du piano et les octaves projetées. L'utilisateur a le choix entre :

- **le mode pause** : dans ce mode de jeu le défilement des notes s'arrête tant qu'elles ne sont pas jouées correctement.
- **le mode live** : dans ce mode de jeu, le défilement des notes ne s'arrête pas.

3.1 Vue globale

Nous avons développé ce projet en C++ et réalisé un affichage grâce à OpenGL. Dans la figure 4 est présenté le diagramme des classes de notre système.

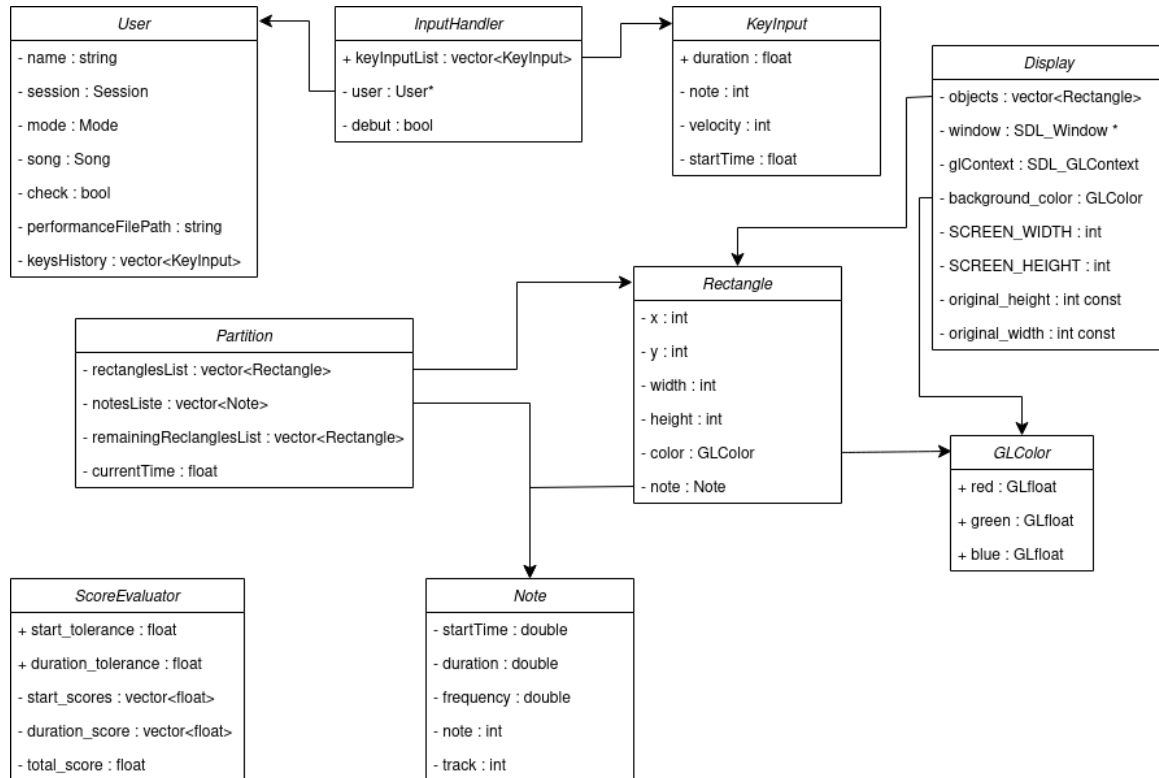


Figure 4: Diagramme de classes du système.

3.2 Problèmes rencontrés et solutions

3.2.1 Constantes arbitraires

Comme évoqué précédemment beaucoup de paramètres sont modifiables pour la projection. Cependant il ne nous était pas possible de tester toutes les configurations :

- couleurs des rectangles, du fond, etc..
- hauteur des rectangles relatifs à leur durée

Nous avons donc fait des choix arbitraires pour ces paramètres.

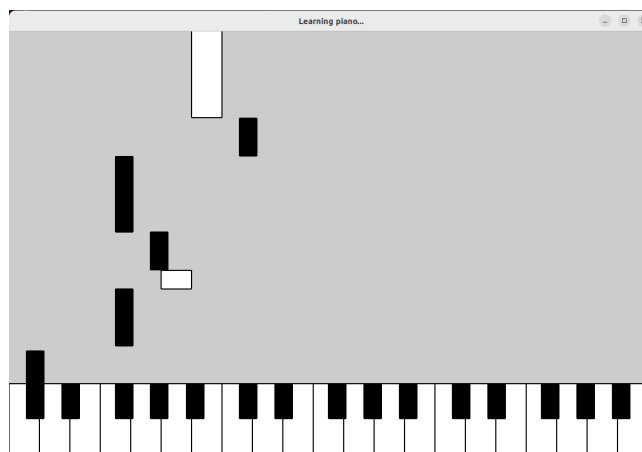


Figure 5: Capture d'écran de l'affichage

3.2.2 Lecture de fichiers MIDI et inputs clavier

Pour ce projet, le clavier de piano que nous utilisons est un clavier maître de 37 touches permettant d'envoyer en USB des signaux MIDI. Afin de lire ces signaux et les traiter nous avons utilisé la bibliothèque `RtMidi`. Celle-ci nous permet de savoir quand l'utilisateur appuie ou relâche une note et quelle note est appuyée.

Pour ce qui est de la lecture des morceaux nous utilisons la bibliothèque `MidiFile` permettant de lire des fichiers MIDI et d'en extraire les notes à afficher à l'utilisateur au bon moment.

3.2.3 Son de piano

Il n'est pas pratique de produire un son de piano à l'aide de C++. Les bibliothèques disponibles ne sont pas simples à prendre en main et la production de son nativement sur C++ se limite à un La 440. Nous avons donc trouvé le logiciel gratuit LMMS à lancer en parallèle de notre application pour avoir un son de piano grâce à un instrument virtuel.

3.3 Arrêt des notes

Pour l'arrêt de notes il a fallu définir clairement quelles étaient les règles d'une note bien jouée. Nous avons donc décidé qu'un input correctement joué est :

- débuté à ϵ près du début attendu
- terminé à δ près de la fin de la note

De ce fait, une note jouée trop tôt ne valide pas la prochaine note et devra donc être rejouée dans l'intervalle valide et une note terminée trop tôt devra être poursuivie par un nouvel input jusqu'à un temps valide.

Par ailleurs, si n notes doivent être jouées en même temps, alors l'input est correct seulement si toutes ces notes sont jouées.

Les fausses notes sont ignorées dans le défilement : elles n'empêchent pas la validation.

Plus précisément, nous itérons sur la liste des notes qu'il nous reste à jouer. Pour chacune des ces notes, si la durée qu'il lui reste à être jouée est positive et inférieure à 70% de sa durée (seuil à partir duquel nous considérons que si l'utilisateur relâche la touche il n'a plus besoin de la réappuyer) et que l'utilisateur a appuyé sur la touche correspondante moins de $\epsilon = 0.05s$ avant le début de la note alors celle-ci est validée et la note défile, sinon le défilement se fige jusqu'à ce que les conditions soient respectées.

3.4 Score

Afin de pouvoir évaluer les performances de nos participants, il était nécessaire d'établir des fonctions de score sur lesquelles nous reviendront [par la suite](#).

Or étant pressés par le temps, nous devions commencer les expériences sans avoir eu le temps de coder ces fonctions.

Nous avons donc gardé un historique des inputs dans des fichiers JSON lors de chaque expérience, desquels nous avons par la suite extrait les scores.

4 Évaluation du système

4.1 Résumé du protocole d'évaluation

Ce que nous avons voulu évaluer était l'efficacité d'arrêter le défilement des notes lors de l'apprentissage par rapport à un système où le défilement ne s'arrête jamais. Nous avons choisi de tester le système sur deux morceaux de difficulté équivalente, et de faire une évaluation within-subjects; principalement pour avoir le plus de données possible avec le moins de personnes à tester possible. Chaque participant est entraîné dans un des deux modes d'apprentissage (avec arrêt ou sans arrêt) sur un morceau puis est testé sur le même morceau dans les deux modes successivement (ordre aléatoire). Ensuite, la même chose en changeant les modes est répétée pour le second morceau. Chaque combinaison de modes d'apprentissage et d'évaluation devait être testée (combinatoire) afin de diminuer les biais. Toutefois, nous n'avons pu faire passer que 12 personnes sur les 16 prévues initialement. Le détail du protocole est présent en annexe [A](#).

4.2 Fonctions de score

Le choix d'une métrique satisfaisante est très complexe et il est difficile de trouver quelle métrique serait bonne pour évaluer la qualité d'un jeu au piano. Cela aurait pu être un projet à part entière concentré uniquement sur le choix d'une métrique satisfaisante. Les choix que nous avons fait en terme de technique ont l'avantage d'être simples et compréhensibles, mais ont pour principal défaut de dépendre du système et de ne pas être commun aux deux modes de jeu.

4.2.1 Score live

Pour le mode de jeu avec défilement continu nous voulions évaluer le recouvrement des notes.

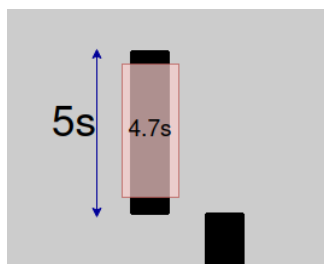


Figure 6: Principe du recouvrement, on gagne ici 4.7s correspondant à l'input clavier

À cause d'une erreur technique, nous avons dû nous rabattre sur l'évaluation du début des notes. Le score attribué est donc une gaussienne de l'écart entre le début de la note attendu, et le début de l'input correspondant. Un écart plus grand qu'une seconde vaut 0.

Il n'y a pas de malus pour les mauvaises notes.

4.2.2 Score pause

Pour le mode de jeu avec arrêt du défilement, nous avons choisi de compter le temps de pause comme métrique d'un morceau bien réussi. En effet, l'utilisateur est voué à jouer toutes les bonnes notes, et à les jouer un temps minimal sans quoi le défilement s'arrête. C'est pourquoi cette métrique est la plus pertinente.

Il n'y a encore une fois pas de malus pour les mauvaises notes.

4.3 Attentes

Nous nous attendons à ce que les participants s'étant entraînés sur le système avec arrêt des notes aient de meilleurs résultats sur les tests par rapport aux participants s'étant entraînés sur le système sans l'arrêt des notes.

Ainsi notre hypothèse est que pour n'importe quel test dans n'importe quel mode (live ou pause) les résultats seront meilleurs dans le cas d'un entraînement avec pause.

4.4 Résultats quantitatifs

4.4.1 Résultats non normalisés

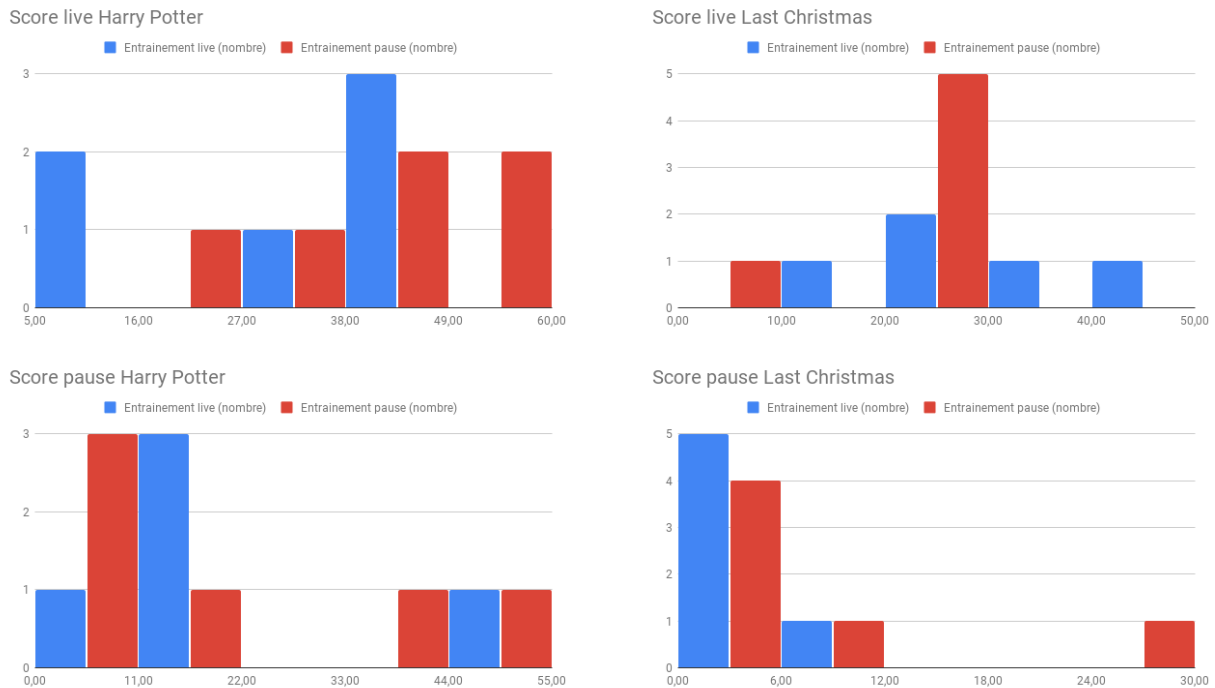


Figure 7: Histogrammes des scores non-normalisés (en secondes pour le mode pause). Entraînement en live en bleu, en pause en rouge

Chanson	Score live				Score pause			
	Harry potter		Last Christmas		Harry potter		Last Christmas	
Entraînement	Live	Pause	Live	Pause	Live	Pause	Live	Pause
Moyenne	31,51986667	42,20198333	30,81318	22,29116667	20,82704	20,6812	4,494333333	8,147483333
Ecart-type	17,30693101	14,30891182	13,06211928	9,514557538	16,96796084	20,03841529	2,083461895	9,234314916

Figure 8: Moyennes (en secondes pour le mode pause) et écarts-types

Ces histogrammes ainsi que les variances élevées nous donnent l'intuition qu'il faut normaliser les résultats pour mieux comparer les deux modes d'entraînement. On peut néanmoins retenir ici que cette variance est sûrement due à une grande dépendance sur l'utilisateur.

Les tendances semblent néanmoins être les mêmes sur les deux chansons.

4.4.2 Résultats normalisés

Puisque nous souhaitons dépasser le problème de la variance trop grande dans les données nous allons appliquer une normalisation Z-score. Ainsi, on impose une moyenne de 0 et un écart-type de 1 aux histogrammes précédents, c'est-à-dire aux scores sur le même mode, d'une même chanson.

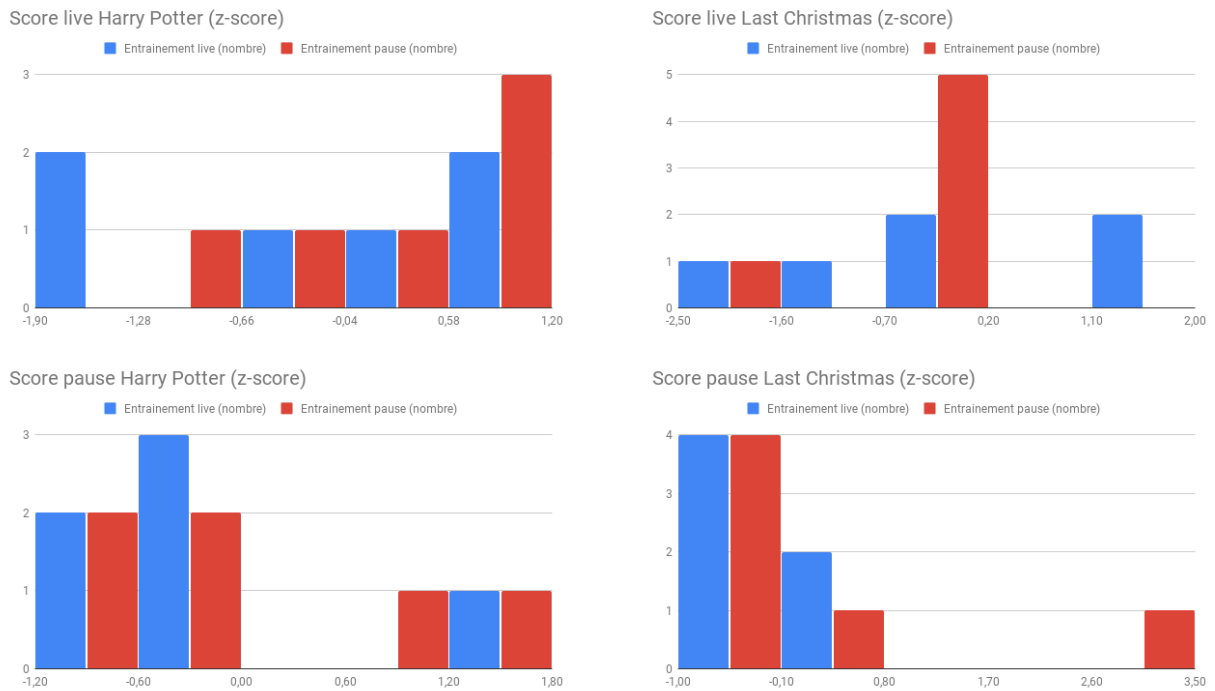


Figure 9: Histogrammes des scores normalisés (sans unités)

Pour comparer les deux modes d'entraînement, on prend l'opposé du score avec pause puisque l'un est bon si négatif et l'autre si positif (respectivement le score pause et live). Sur le prochain histogramme les meilleurs score sont donc les plus positifs.

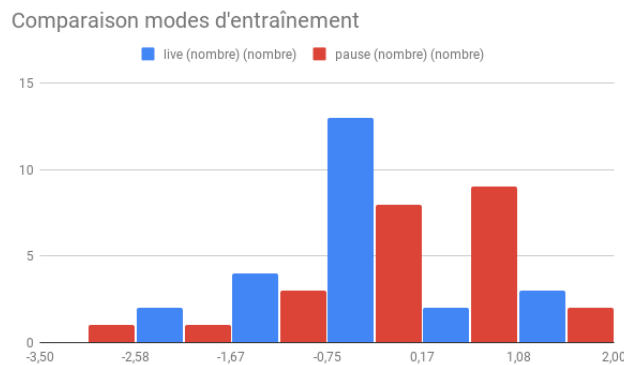


Figure 10: Comparaison des scores normalisés, par mode d'entraînement

	Entraînement live	Entraînement pause
Moyenne	-0,2095587052	-0,06650367107
Ecart-type	0,9861841831	1,041916846

Figure 11: Moyenne et écart-type par mode d'entraînement

On constate que le score des participants après entraînement par mode pause est en moyenne meilleur qu'avec un défilement continu. L'écart-type après un entraînement en mode pause est cependant légèrement plus important ce qui tend encore une fois à montrer que cette méthode est plus dépendante de l'utilisateur.

On peut donc en conclure qu'il est plus avantageux de s'entraîner avec le mode pause, pour les fonctions de score définies ce qui confirme ainsi nos attentes.

4.5 Avis récoltés

4.5.1 Questionnaire de retours

Après avoir testé les participants nous leur faisons compléter le court questionnaire présenté dans le protocole (cf figure 13). Nous obtenons les résultats suivants pour les questions données :

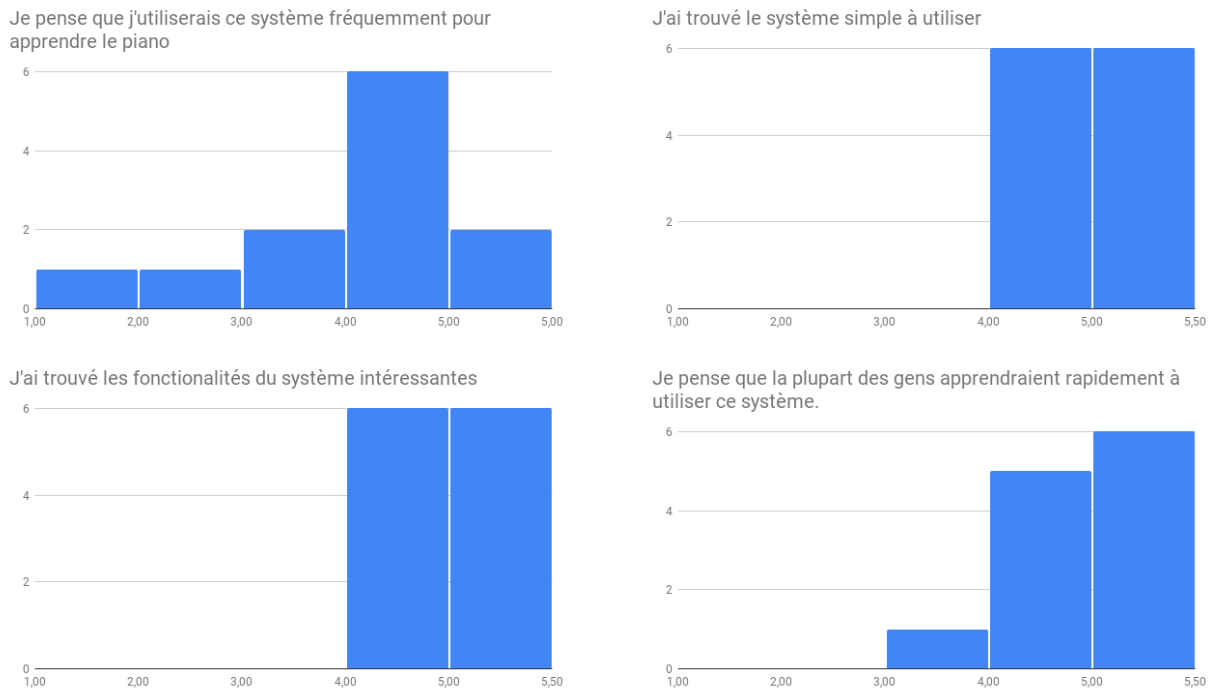


Figure 12: Retours du questionnaire des participants

On note un retour très positif sur l'arrêt des notes et la facilité de la prise en main. Cependant, les utilisateurs ne sont pas unanimes pour dire qu'ils utiliseraient fréquemment ce système peut-être par incertitude du bénéfice à long terme de cette méthode pour apprendre le piano comme cela nous a été notifié.

4.5.2 Retours autres

Nous avons également reçu des retours plus informels sur notre système.

Les points positifs relevés sont :

- **l'aide du mode pause** : qui a été particulièrement apprécié pendant l'entraînement pour mieux maîtriser le placement des notes;
- **un calibrage approprié**;
- **un affichage clair**;
- **un système ludique** : qui rend l'apprentissage plus engageant.

On note tout de même quelques points négatifs :

- **inquiétudes sur l'apprentissage à long terme** : certains utilisateurs s'interrogent sur l'intérêt de ce système pour un apprentissage à long terme.
- **pas de placement des doigts**
- **manque de retour sur la justesse des notes** en mode live;
- **dur d'être concentré sur le tempo et sur l'image**.

Par ailleurs, les participants auraient voulu voir certaines autres fonctionnalités :

- **ralentissement du morceau**;
- **une grille** pour mieux anticiper l'arrivée des notes;

5 Conclusion

Pour conclure, les retours globaux des utilisateurs sur l'utilisation de notre logiciel sont plutôt positifs. Nous avons trouvé une valeur ajoutée à l'arrêt des notes tant sur les performances que vis-à-vis de l'expérience utilisateur. Notre système rend ainsi plus accessible aux débutants l'apprentissage d'un petit morceau avec un guide visuel qu'une vidéo ou même une projection à défilement continu.

A l'avenir, différentes choses pourrait être ajoutées ou testées. En effet, il resterait par exemple à évaluer la capacité des utilisateurs à se passer de ce support par la suite pour rejouer ces morceaux. Des ajouts pourraient être apportés à l'interface comme différents utilisateurs nous l'ont suggéré, avec par exemple des informations sur le placement des mains sur le clavier, ou des animations pour rendre l'expérience encore plus immersive.

A Protocole d'évaluation

A.1 Introduction

Pour évaluer correctement notre système, il faut savoir à quoi on va le comparer. L'intérêt de la collocalisation des notes et des touches n'est plus à prouver comme discuté en classe, on s'est donc intéressé à l'intérêt d'arrêter les notes dans leur chute pour donner du temps à l'utilisateur de les jouer correctement alors que dans le système "témoin" les notes ne s'arrêtent pas de tomber, même si une note a été ratée.

L'objectif sera alors de montrer que notre système rend l'apprentissage plus facile en arrêtant les notes dans leur chute.

A.2 Sélection des participants

A.2.1 Utilisateur type

Un exemple d'utilisateur type de notre système pourrait être le suivant :

- expérience musicale : débutant au piano
- objectif : apprendre à jouer des morceaux simples au piano
- n'a pas l'envie de consacrer du temps pour apprendre à lire une partition

A.2.2 Participants

Pour sélectionner nos participants pour réaliser l'évaluation de notre système nous avons donc recherché des personnes n'ayant pas ou très peu de connaissances préalables en piano et solfège.

Pour l'évaluation il est important de faire des évaluations individuelles pour éviter les biais de confirmation de groupe. La personne qui teste le prototype doit y être présentée de façon indépendante et non biaisée. Elle ne doit pas avoir de connaissances a priori sur le système.

D'autre part, on essaye d'éviter de faire tester le système à des personnes présentes pour le cours de VR/AR qui seraient sans doute déjà biaisées et qui donneraient donc une évaluation peu comparable avec les autres participants.

A.3 Métrique utilisée

Ce que nous voulons évaluer est le bénéfice apporté par le fait d'arrêter le défilement des notes par rapport à un système où les notes continuent de tomber même si l'utilisateur n'a pas encore appuyé sur la bonne touche.

Pour évaluer les morceaux avec un arrêt des notes on va simplement utiliser le temps complet d'arrêt au cours du morceau. Plus ce temps sera court, meilleure sera l'évaluation. Pour les morceaux sans temps d'arrêt, le score par note sera calculé en fonction du recouvrement entre la note attendue et la note effectivement jouée.

A.4 Protocole

- Accueil du participant
- Travail du premier morceau 3 itérations (enregistrement des scores).
- Évaluation du premier morceau.
- Travail du second morceau 3 itérations (enregistrement des scores).
- Évaluation du second morceau.
- Échange informel sur l'expérience et demande de retours sous forme d'un questionnaire (voir section [A.5](#)).

Les morceaux à travailler le seront soit avec notre système où les notes s'arrêtent de défiler quand la personne cherche la prochaine note (cas système), soit avec un système qui ne s'arrête pas et continue de défiler même si la personne n'a pas appuyé sur la note (cas témoin).

Les évaluations des morceaux consiste à jouer le morceau en question dans le cas système puis dans le cas témoin (ou inversement). Cela permettra de comparer la progression dans les deux cas d'apprentissage.

Il faudra faire attention aux morceaux testés. En effet, il faudra que chaque morceau soit testé un nombre de fois identique et dans les mêmes conditions. Si on a deux morceaux différents et en supposant qu'on fait tester deux morceaux par participants, on obtient les possibilités suivantes (Mi = morceau numéro i ; S = système ; T = témoin ; TS = test système ; TT = test témoin):

1. M1 : T + TS + TT ; M2 : S + TS + TT
2. M1 : T + TS + TT ; M2 : S + TT + TS
3. M1 : T + TT + TS ; M2 : S + TS + TT
4. M1 : T + TT + TS ; M2 : S + TT + TS
5. M1 : S + TT + TS ; M2 : T + TS + TT
6. M1 : S + TT + TS ; M2 : T + TT + TS
7. M1 : S + TS + TT ; M2 : T + TS + TT
8. M1 : S + TS + TT ; M2 : T + TT + TS
9. M2 : T + TS + TT ; M1 : S + TS + TT
10. M2 : T + TS + TT ; M1 : S + TT + TS
11. M2 : T + TT + TS ; M1 : S + TS + TT
12. M2 : T + TT + TS ; M1 : S + TT + TS
13. M2 : S + TT + TS ; M1 : T + TS + TT
14. M2 : S + TT + TS ; M1 : T + TT + TS
15. M2 : S + TS + TT ; M1 : T + TS + TT
16. M2 : S + TS + TT ; M1 : T + TT + TS

Toutes les combinaisons possibles ne sont pas représentées mais on considère que les morceaux de musique sont plus ou moins équivalents donc que ça ne changerait pas grand chose de toutes les faire (et on n'a pas assez de temps pour tout tester).

A.5 Retours informels

Il serait peut être possible pour cette partie-là d'avoir un retour comparable entre les différents participants. Il est possible de leur faire remplir un formulaire inspiré de celui du [System Usability Scale \(SUS\)](#). Nous avons pensé au formulaire suivant :

Question	1 (strongly disagree)	2	3	4	5 (strongly agree)
Pour apprendre le piano, je pense que j'utiliserais ce système fréquemment.					
J'ai trouvé que le système était simple à utiliser.					
J'ai trouvé les fonctionnalités du système intéressantes (arrêt des notes).					
Je pense que la plupart des gens apprendraient rapidement à utiliser ce système.					

Figure 13: Questionnaire de retours.

B Démonstrations

Vous trouverez dans le dossier du rapport les vidéos :

- *harry_potter_mode_pause.mp4* : démonstration d'Harry Potter en entier en mode pause, comme proposé aux participants;
- *harry_potter_mode_live.mp4* : démonstration d'Harry Potter en entier en mode live, comme proposé aux participants;
- *demo_mode_pause.mp4* : démonstration de l'arrêt des notes non valides en mode pause.