

Vincent NICOLAS

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Ping, installation sonore interactive sur le
thème du *flow*

Directeur interne et responsable universitaire : Corsin VOGEL

Rapporteurs : Thierry CODUYS, Alan BLUM

Résumé

Ping.

Ce mémoire traite de la réalisation d'une installation interactive sonore, baptisée *Ping* prenant l'apparence d'une table de ping-pong augmentée, ayant pour thème le flow, concept de psychologie qui décrit l'état d'expérience optimale. Pour atteindre et maintenir l'état de flow, l'individu doit être concentré dans son activité et s'y projeter, sans que cela soit un effort, tout en maintenant un niveau de défi suffisant pour ne pas tomber dans l'ennui.

La première partie de ce mémoire consistera en une exploration du flow. Après l'avoir défini et expliqué comment le mesurer, nous ferons un tour d'horizon approfondi des domaines d'application de la recherche portant sur le flow.

En conclusion de cette première partie nous évoquerons la difficulté que l'on a à quantifier des notions psychologiques subjectives. Ainsi, nous avons souhaité dans un deuxième temps aller au delà de l'approche scientifique, et abreuver nos recherches d'influences culturelles et artistiques pour arriver à une identité sonore du flow, qui nous servira de ligne de conduite dans la conception de l'installation.

La troisième partie sera une description en détail des travaux sur un prototype de *Ping*.

Abstract

Ping.

This study is about *Ping*, a computer-enhanced ping-pong table that one can play like a music instrument. The inspiration in the making of *Ping* originates from the concept of *flow*, a psychological concept describing optimal experience. Flow happens when someone is focused and dedicated in his activity. We can also say that flow is the psychological state between boredom and anxiety.

Firstly, we will take the time to explore flow through different studies and experiments from the last 30 years of research. learn how to measure it, and how it can be applied on various fields.

Secondly, we will broaden our research to other influences, like movies and art, to better grasp the in-depth nature of flow. The goal here will be to build a sound identity of flow that we will use in *Ping*.

Finally, the last chapter will be a detailed description of our work on a prototype of the ping-pong table.

Table des matières

1	Théorie de l'expérience optimale	6
1.1	Historique	6
1.1.1	Origines	6
1.1.2	Époque contemporaine	7
1.2	Décrire le flow	8
1.2.1	Approche dimensionnelle vs. catégorielle	8
1.2.2	Une autre conception du bonheur	9
1.2.3	Conscience et expérience optimale	10
1.2.4	Démarche d'études	10
1.2.5	Provoquer le flow	11
1.2.6	Les 9 dimensions	12
1.2.7	Synthèse et compléments	15
1.3	Outils psychométriques	16
1.3.1	Échelle de Likert	16
1.3.2	Variables et corrélation	17
1.3.3	Analyse factorielle confirmatoire et validité de la construction	17
1.4	La mesure du flow	18
1.4.1	Experience-Sampling Method	18
1.4.2	FSS et DFS	19
1.5	Domaines d'études de l'expérience autotélique	21
1.5.1	Flow et jeu vidéo	21
1.5.2	Flow et pratique instrumentale	23
1.5.3	A l'intersection du sport et du jeu : cas de la ludification	26

1.6	Au delà du flow : perspectives	29
1.6.1	Limites du modèle	29
1.6.2	Vers une nouvelle description : le clutch	33
2	Vers une identité sonore pour le flow	35
2.1	Représentations du flow dans la culture populaire	35
2.1.1	Le flow au cinéma	35
2.1.2	Le flow dans le jeu vidéo	37
2.2	Problématique : scénographier le flow	39
2.2.1	L'interactivité	39
2.2.2	Le défi	40
2.3	Quelle création sonore pour l'installation ?	40
2.3.1	Une création subjective	40
2.3.2	Inspirations musicales	41
3	Mise en application : illustrer le flow par une installation sonore	42
3.1	Description technique du projet	42
3.2	Prototype	42
3.2.1	Électronique	44
3.2.2	Enregistrement de séquences test	46
3.2.3	Traitement et interprétation du signal	48
3.3	Bilan et perspectives	53

1.

Théorie de l'expérience optimale

Les notions abordées dans cette partie appartiennent au domaine de la psychologie. Comme dans toutes les sciences cognitives, un des problèmes qui se pose est celui de la mesure d'un phénomène subjectif. Nous verrons jusqu'où il est possible d'aller avec les outils actuels.

1.1 Historique

1.1.1 Origines

"L'herbe s'abattait en hautes rangées; les faucheurs, un peu à l'étroit et pressés de tous côtés, faisaient résonner les ustensiles pendus à leurs ceintures, entre-choquaient leurs faux, sifflaient, s'interpellaient gaiement. [...] L'herbe tendre et douce se fauchait facilement, mais il était dur de monter et de descendre la pente souvent escarpée du ravin. Le vieux n'en laissait rien paraître, montant à petits pas énergiques, et maniant légèrement sa faux. [...] Une fièvre intérieure semblait le soutenir" (TOLSTOÏ, 1877)

Cet extrait d'Anna Karénine est tiré d'un passage où Tolstoï décrit le fauchage d'un champ. C'est une activité éreintante. Toutefois, dans cette scène, les travailleurs sont décrits comme en train de vivre un moment d'épiphanie. Ils sont en harmonie avec leur environnement et leurs outils fonctionnent comme une extension de leur corps. Ils travaillent à l'unisson et la notion d'effort disparaît, pour faire place à un sentiment de fluidité et de facilité.

De tels phénomènes sont décrits par de nombreux auteurs et vécus par tous les humains

régulièrement. Cette recherche de la satisfaction dans l'action, ce que nous définirons plus tard comme une *activité autotélique*, est au centre de religions aux racines anciennes comme le Taoïsme et le Bouddhisme zen (PIERCE, 2019).

Ainsi, le texte sacré majeur du Taoïsme, *Le Livre de la Voie et de la Vertu*, datant de plusieurs siècles avant notre ère, prête ces mots au légendaire sage Lao Tseu : "*Ceux qui coulent avec la vie n'ont pas besoin d'une autre force.*"

Deux choses nous intéressent dans cette phrase : tout d'abord, son origine légendaire. Elle appartient à un texte sacré, c'est-à-dire qu'elle est ancrée dans une culture. On peut donc avancer que, dans une certaine mesure, elle appartient à une sorte d'inconscient collectif, ce qui lui donne une portée universelle. Deuxièmement, cette phrase utilise la métaphore de l'écoulement de l'eau. C'est cette image de fluidité qui cristallise au mieux la description que l'on peut faire du phénomène qui sera désigné 2000 ans plus tard par le mot *flow*.

Par ailleurs, même si *flow* est le terme qui est retenu actuellement par la recherche, ce n'est pas le seul disponible. Ainsi, on dit parfois d'un sportif qu'il est *dans la zone*, lorsqu'il est en réussite et que ses performances sont exceptionnelles (YOUNG et PAIN, 1999). Il existe plusieurs désignations car le flow est avant tout un phénomène subjectif. Personne ne le ressent ni de la même manière ni en faisant la même chose, et c'est cette intériorité qui le rend si particulier.

1.1.2 Époque contemporaine

La recherche sur le flow est indissociable du nom de Mihaly Csikszentmihalyi. Il est professeur de psychologie à l'université de Claremont en Californie et est reconnu comme le premier à avoir nommé le flow de façon scientifique (CSIKSZENTMIHALYI, 1975). Il est l'auteur ou le co-auteur d'environ 300 articles de psychologie en rapport avec le flow¹.

De plus, il a publié depuis 1975 dix livres de vulgarisation sur le sujet. Ces livres sont destinés au grand public et certains se sont vendus à plus de 100 000 exemplaires². Ces livres se présentent comme une invitation à la réflexion pour aider le lecteur dans sa recherche d'accomplissement, de sérénité ou de bonheur.

Le monde de la recherche s'est nourri des recherches de Csikszentmihalyi et désormais le flow, ou l'expérience optimale, est étudié sous toutes ses formes, dans des domaines variés

1. source : [Google Scholar](#) [consulté le 22/07/2020]

2. source : [Amazon](#) [consulté le 22/07/2020]

comme le sport, le jeu ou l'éducation. Le site ScienceDirect.com [consulté le 22/07/2020] renvoie pas moins de 47 000 articles de psychologie avec le mot-clé *flow*. On peut donc dire qu'aujourd'hui le flow est un phénomène largement étudié, et la recherche à ce sujet est toujours active.

1.2 Décrire le flow

Depuis les années 70, les modèles de flow ont bien évolué. L'approche la plus répandue est une approche *dimensionnelle*, cristallisée notamment dans l'ouvrage de référence : *Flow : the psychology of optimal experience* (CSIKSZENTMIHALYI, 1990). Ce choix n'est pas anodin : il s'agit de l'ouvrage le plus cité, avec plus de 30 000 références³ dans les publications sur le flow. Dans cette partie nous nous baserons donc essentiellement sur cet ouvrage, qui constitue une vulgarisation efficace et largement approuvée.

1.2.1 Approche dimensionnelle vs. catégorielle

Par précaution méthodologique, définissons sommairement les deux types d'approche qui servent à élaborer des modèles au sein des sciences cognitives.

Modèle catégoriel

Les modèles catégoriels sont issus de la psychologie. Ils rendent compte de la manière dont les individus, à travers leurs perceptions, constituent des catégories auxquels il rattachent les éléments de leur environnement, selon des critères qualitatifs impossibles à mesurer avec des outils classiques. Ainsi, dans les années 70, Rosch introduit le concept de catégorisation prototypique (ROSCH, 1973). Il stipule que le processus cognitif de catégorisation tend à rapprocher l'objet à catégoriser d'un prototype, c'est-à-dire d'un objet d'une catégorie qui la représente le mieux. Ainsi un marteau est un bon prototype de la catégorie *outil*.

3. source : *ScienceDirect* [consulté le 22/07/2020]

Modèle dimensionnel

Le modèle dimensionnel est quant à lui à rapprocher de la méthode employée dans les sciences physiques. On part alors du postulat que tout est mesurable quantitativement. Pour différencier deux objets, il faut mesurer leurs différentes caractéristiques : nous allons voir comment une telle approche a été utilisée pour construire le modèle du flow de Csikszentmihalyi.

Nous choisissons de restreindre notre étude à la seule approche dimensionnelle, pour la raison qu'elle est largement employée dans la littérature scientifique sur le flow. De plus, dans le cadre de notre projet d'installation, il est pratique d'utiliser une approche continue, comme nous le verrons dans la troisième partie : nous allons chercher à mesurer le flow, et non à la catégoriser, même s'il s'avère que cette approche affiche des limites.

1.2.2 Une autre conception du bonheur

La question autour laquelle Csikszentmihalyi a construit sa recherche est la suivante : quand se sent-on le plus heureux ? Il ancre sa réflexion dans un contexte presque d'actualité, ou la *recherche du bonheur* est un droit inaliénable présent dans la constitution des États-Unis. Il constate que, malgré un vague sentiment commun que la période contemporaine est plus propice au bonheur que les temps anciens, le bonheur général n'est pas lié à l'amélioration de qualité de vie dans le monde occidental, et déplore l'insatisfaction chronique ressentie par de très nombreuses personnes. Ce faisant, il prend une distance par rapport à l'idée épicurienne selon laquelle l'ataraxie, c'est-à-dire l'absence de troubles, est à la source du bonheur. Il avance l'idée que le bonheur n'est pas une conséquence du succès, mais plutôt un effet secondaire du cheminement vers la réussite. Il cite, entre autres, le psychologue Viktor Frankl, dont les recherches sur le sens de la vie sont une source d'inspiration pour Csikszentmihalyi :

"Ne visez pas le succès - plus vous le viserez et plus vous le manquerez" (FRANKL, 1946).

On retrouve bien ici l'opposition entre l'idée du bonheur à l'occidentale, et plus particulièrement américaine, basée sur la réussite matérielle et les objectifs tangibles, à une approche à la manière du bouddhisme qui valorise la richesse spirituelle. De plus, il s'agit d'un bonheur de l'action, du mouvement, et non quelque chose de figé.

1.2.3 Conscience et expérience optimale

Nous arrivons ici à la définition du flow à proprement parler. Il s'agit d'un état de la conscience. Csikszentmihalyi définit la conscience comme de l'information traitée intentionnellement. Ce traitement de l'information a ses limites : le cerveau humain n'a accès qu'aux 5 sens et ne peut gérer qu'une certaine quantité de données à la fois. La conscience agit parfois comme un faisceau, qui se braque sur l'information qui doit être traitée. Le reste du temps, l'attention est diffuse et c'est, au contraire, l'information qui se présente spontanément à la conscience.

Prenons le cas particulier suivant, tiré d'un entretien réel mené par Csikszentmihalyi (CSIKSZENTMIHALYI, 1990, pp 34-35) : un lycéen n'a pas d'idée précise de ce qu'il veut faire de ses études, et n'a pas d'appétence particulière pour une matière en particulier. Au cours d'une plongée sous-marine, il est frappé par la beauté de la faune et la flore océanique. Ceci agit comme un déclic qui le fait suivre assidûment les cours de biologie, le menant à la carrière de biologiste spécialisé dans les poissons. Cet exemple auquel il est aisé de s'identifier montre la structure circulaire de la conscience : lorsque quelque chose se présente à notre attention et la capte, on dirige ensuite notre conscience dans le but de retrouver cette expérience, fermant ainsi le cercle.

Le flow représente la forme ultime d'équilibre de la conscience circulaire, sur une échelle de temps beaucoup plus courte : lorsque l'information reçue par la conscience est en adéquation avec les buts fixés par l'individu, on est dans le cas d'une expérience optimale. La conscience est ordonnée, l'attention est mobilisée sans toutefois que cela en devienne un effort. La conséquence est un sentiment de bien-être intense.

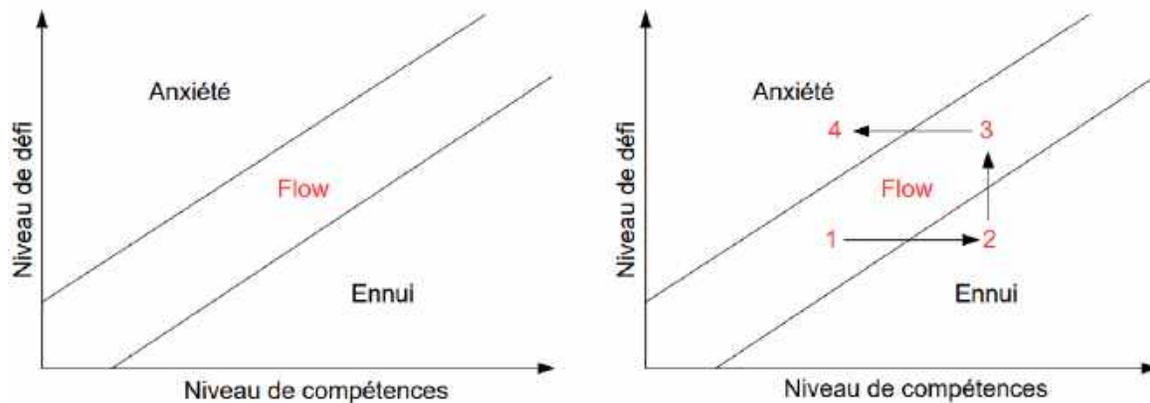
1.2.4 Démarche d'études

Au début de ses recherches, Csikszentmihalyi s'est spontanément tourné vers des athlètes de haut niveau ou des gens aux facultés mentales développées tels des joueurs d'échec professionnels. Ce n'est que plus tard qu'il a ouvert son étude à toutes les catégories de la population, des étudiants aux ouvriers, en passant par des femmes au foyer, appartenant à toutes les classes sociales et de tous les pays. Il se dégage donc de ces ouvrages une recherche d'universalité dans l'expérience optimale, qui n'est pas réservée à une élite surentraînée comme on pourrait le croire. Les recherches prennent le plus souvent la forme d'un long entretien personnel ou d'un questionnaire, conduit sur plusieurs milliers de personnes, au long de 12

années d'investigations (CSIKSZENTMIHALYI, 1990).

1.2.5 Provoquer le flow

L'état de conscience correspondant à l'expérience optimale étant clairement défini, voyons quelles sont les conditions pour le provoquer, et s'y maintenir. Comme nous venons de le voir, le flow correspond à un équilibre ténu entre niveau de défi et capacités à le relever, ce qui est résumé dans le diagramme ci-dessous. Un déséquilibre entre les deux axes risque d'amener la conscience soit dans un état d'ennui si l'on n'est pas assez stimulé par le défi à relever, soit dans un état d'anxiété si l'on ne se sent pas à la hauteur. Il faut alors réaliser une compensation pour se replonger dans le flow.



Prenons l'exemple d'un jeu vidéo dans lequel la difficulté est réglable : facile, moyen, difficile, etc. Le joueur commence en difficulté "facile" et expérimente le flow dès ses débuts dans le jeu : c'est l'état 1. Plus il avance, plus il est à l'aise et commence à s'ennuyer, il rentre dans l'état de déséquilibre 2. La solution est alors d'augmenter la difficulté à "moyen" pour retrouver l'équilibre 3. Toutefois, si la difficulté est trop élevée par rapport au niveau du joueur, on risque de se retrouver dans l'état d'anxiété 4, ce qui est nuisible au flow. Ce cycle est présenté ci-dessus.

1.2.6 Les 9 dimensions

De quoi est constitué le flow ? Sur quels phénomènes repose-t-il ? Dans cette partie nous allons définir les éléments caractéristiques du flow qui permettent de l'identifier, le mesurer et l'étudier⁴.

Le terme de *dimensions* fait référence à l'approche dimensionnelle citée plus haut. Alors que Csikszentmihalyi parle de *conditions* de flow, certains chercheurs avancent que certaines de ces conditions sont des *prérequis* et d'autres des *conséquences* induites par le flow. Dans le cadre des études psychométriques que nous verrons plus tard, nous utiliserons également le terme *facteur*, dans le sens où ces dimensions contribuent au flow.

UNE ACTIVITÉ QUI PRÉSENTE UN DÉFI ET REQUIERT DES COMPÉTENCES

Comme nous l'avons vu sur les schémas, et selon les mots de Csikszentmihalyi lui-même : "Le plaisir apparaît à la frontière entre l'anxiété et l'ennui". Par "activité" on ne parle pas forcément d'une action physique. De même, "compétence" ne signifie pas non plus qu'il doit s'agir de quelque chose de complexe.

Finalement, peu importe s'il s'agit d'une partie de tennis à haut niveau ou simplement de taper quelques balles en tant que débutant. Ce que nous dit ce premier élément du flow, c'est qu'il faut orienter sa conscience de manière à trouver une sorte de mise en compétition dans ce que l'on est en train de faire. C'est d'ailleurs ce principe qui est à la base de la **ludification**, un terme récent (CAMPBELL, 2011) qui signifie littéralement "rendre ludique". Nous y reviendrons en détail en 1.3. On retrouve ici le principe selon lequel la compétition avec soi-même et d'autres gens est bénéfique aux performances : c'est l'émulation.

LA FUSION DE L'ACTION ET DE L'ATTENTION

On recherche ici la spontanéité, et presque l'automaticité de l'action. La tâche doit être réalisée sans même y penser, aussi naturelle que la respiration. Or, nous avons tous un jour constaté que lorsqu'on se met à y penser, l'action de remplir et vider nos poumons n'est plus inconsciente, il faut désormais se concentrer dessus : la fusion est alors rompue. Il y a deux manières de voir ce phénomène : l'individu ne fait plus qu'un avec ses actions, ce qui

4. Par soucis de cohérence avec JACKSON ET MARSH (2002) et la suite du mémoire, la troisième condition "Objectifs clairs et Feedback" présente originellement dans CSIKSZENTMIHALYI (1990) est ici séparée en deux.

équivalait à dire qu'il perd la conscience d'être en train de faire, ce qui est une composante essentielle du flow.

DES OBJECTIFS CLAIRS

Le but de l'action, ou de l'activité, doit être univoque : gagner le match pour un sportif, arriver en haut de la montagne pour un randonneur... Toutefois, on pourrait argumenter qu'un marin qui trouve son plaisir dans la navigation ne poursuit pas de but précis : comme nous allons le voir avec la neuvième dimension du flow, l'action peut se suffire à elle-même.

LE FEEDBACK

Le terme anglo-saxon de *feedback* est assez largement répandu pour qu'il ne nécessite pas de traduction. En français, on parlerait plutôt de retour sur l'expérience, mais le terme englobe aussi les notions de rétribution, c'est-à-dire de récompense, et de réponse. Ce retour peut prendre des formes multiples. Csikszentmihalyi explique que le type de feedback n'est pas important et que tout le monde n'attend pas la même chose en retour de son activité. Il s'agit là de quelque chose de très subjectif ; toutefois, l'importance du feedback est capitale car il permet de savoir que l'on est en train de réussir.

LA CONCENTRATION SUR LA TÂCHE EN COURS

Les conditions de l'environnement doivent permettre de se vouer totalement à l'action. De l'information extérieure pourrait venir parasiter le processus de concentration et faire sortir le sujet du flow.

LE PARADOXE DU CONTRÔLE

Il paraît clair que la conscience en état de flow exerce du contrôle sur l'action. Toutefois, plutôt que la sensation claire d'être en contrôle, ce qui caractérise le flow est l'inhibition de la peur de perdre le contrôle. Cette peur est très présente dans la vie quotidienne. On peut faire le parallèle avec la situation suivante : un alpiniste amateur grimpe une pente abrupte et se force à ne pas regarder en bas : il sait que, le cas échéant, il sera rattrapé par le vertige et se mettra en danger. A force d'expérience et de répétition, il arrivera sûrement un jour

où cet alpiniste ne songera même plus à regarder ailleurs qu'en haut, non pas parce qu'il a oublié le danger, mais parce qu'il est grisé par le contrôle qu'il exerce sur ses actions.

LA PERTE DE LA CONSCIENCE DE SOI

Cette sensation est passée dans le langage courant : on parle de ne "faire qu'un" avec la route, avec la raquette de tennis... Cette notion représente le degré d'intensité ultime de la fusion de l'action et de l'attention. Il s'agit d'une union positive et active avec l'environnement et, étrangement, on n'a plus conscience de *faire*, mais plutôt d'être spectateur : selon les mots d'un escaladeur interviewé par Csikszentmihalyi : "It just happens", "ça nous arrive", et c'est cette passivité apparente qui est signe d'un haut niveau de flow.

LA TRANSFORMATION DE LA PERCEPTION DU TEMPS

Lorsque l'on s'ennuie, le temps semble s'écouler plus lentement. Lorsqu'on est anxieux, on a parfois la sensation de manquer de temps. Comme on l'a vu, le flow représente un état de la conscience entre les deux : la perception du temps peut être modifiée dans les deux sens. En effet, il arrive lors d'une action complexe que le temps apparaisse comme ralenti, fractionné. De la même manière, la conscience en état de flow minimise la sensation de temps qui passe et les heures semblent parfois s'écouler comme des minutes.

L'EXPÉRIENCE AUTOTÉLIQUE

Cette ultime dimension du flow représente un état final qui est surtout une synthèse des éléments précédents. L'étymologie grecque du mot *autotélique* est la suivante :

- *auto* qui signifie *soi-même*
- *telos* qui signifie *but*

Littéralement, autotélique signifie *dont le but est soi-même*. L'activité autotélique est donc celle qui n'a pas d'autre fin qu'elle-même et sa persistance.

1.2.7 Synthèse et compléments

On constate une certaine redondance dans ces 9 dimensions. Toutefois, il était important de les expliciter ainsi car elles constituent la base du modèle présent dans toutes les études postérieures à 1990. Pour cette synthèse nous choisissons de faire apparaître trois catégories, selon CSIKSZENTMIHALYI ET CSIKSZENTMIHALYI (1990).

- Les **prérequis**, qui sont les conditions requises pour provoquer un état de flow,
- Les **effets immédiats**, qui sont concourants à l'état de flow lui-même,
- Les **conséquences**, qui sont les effets résultant d'un état de flow désormais passé.

Cette classification est notamment remise au goût du jour dans une étude récente que nous analyserons plus bas (HANCOCK, KAPLAN et CRUIT, 2019).

N°	Nom	Catégorie
1	Equilibre entre défi et compétences	Prérequis
2	Objectifs Univoques	Prérequis
3	Retour (Feedback)	Prérequis
4	Contrôle	Effet immédiat
5	Concentration	Effet immédiat
6	Fusion de l'action et de l'attention	Effet immédiat
7	Expérience autotélique	Conséquence
8	Transformation de la perception du temps	Conséquence
9	Perte de la conscience de soi	Conséquence

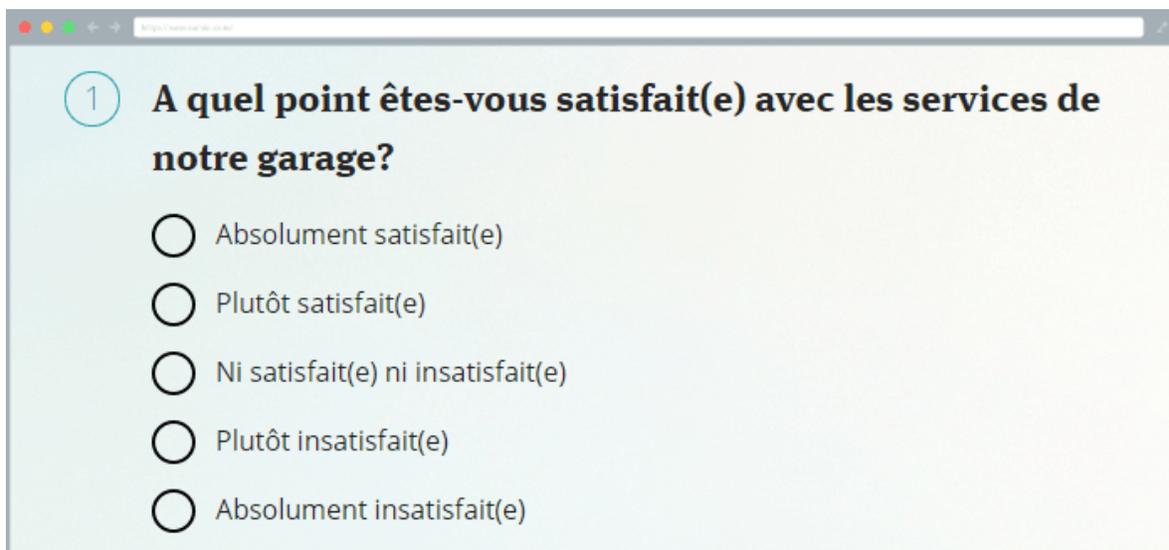
Cette classification a le mérite de regrouper entre eux les facteurs qui sont le plus intercorrélés. Nous verrons par la suite que certaines études se permettent des variations autour de cette classification, en fonction des domaines auxquels elles se consacrent.

1.3 Outils psychométriques

Cette partie regroupe les définitions qui seront utiles plus loin, pour la mesure du flow proprement dite. Ceci relève du domaine de la *psychométrie*. Cette discipline a pour principal objectif de fournir un cadre théorique et méthodologique pour élaborer un dispositif d'évaluation qui soit le plus objectif possible⁵. Il s'agira donc d'un survol des notions clés qui nous permettrons de faire le tour d'horizon de la recherche sur le flow jusqu'à ce jour.

1.3.1 Échelle de Likert

L'**échelle de Likert** est un outil psychométrique permettant de mesurer une attitude chez des individus. Elle tire son nom du psychologue américain Rensis Likert qui l'a développée. Elle consiste en une ou plusieurs affirmations (énoncés ou items) pour lesquelles la personne interrogée exprime son degré d'accord ou de désaccord. Un exemple en est donné ci-dessous. Nous en avons tous déjà croisé, car elles sont désormais si répandues qu'on les retrouve dans des tests de personnalité dans des revues ou sur Internet.



A screenshot of a web browser displaying a Likert scale questionnaire item. The item is numbered '1' and asks: "A quel point êtes-vous satisfait(e) avec les services de notre garage?". Below the question are five radio button options: "Absolument satisfait(e)", "Plutôt satisfait(e)", "Ni satisfait(e) ni insatisfait(e)", "Plutôt insatisfait(e)", and "Absolument insatisfait(e)".

On parle souvent d'item ou d'énoncé de Likert. La gradation des réponses se compose généralement de 5 ou 7 degrés. On privilégie toujours une échelle disposant d'un point neutre (*ne se prononce pas* ou *indifférent*, par exemple) donc possédant un nombre impair de gradations. Il a en effet été prouvé que cela augmente la fiabilité du test (ALWIN et KROSNICK, 1991).

5. Cette définition ainsi que toutes celles liées à la psychométrie sont tirées de l'ouvrage *L'évaluation en psychologie* (CHARTIER, 2018)

Même si cela semble assez simple, la première étape dans la réalisation d'un test valide du point de vue psychométrique est toujours la conception rigoureuse d'un test de Likert. La formulation est très importante pour influencer le moins possible la réponse de l'individu.

L'outil permettant de valider la pertinence d'un item est le **coefficient alpha de Cronbach** (CRONBACH, 1951). Si celui-ci est inférieur à 0,7 alors il faut reformuler la question ou changer de mesure.

1.3.2 Variables et corrélation

Les modèles élaborés en statistiques impliquent plusieurs variables aléatoires. Le calcul de la **corrélation** entre les différentes variables permet de déterminer à quel point elles sont interdépendantes, c'est-à-dire liées entre elles. Par exemple, dans notre étude nous chercherons à savoir à quel point l'expérience autotélique est corrélée à la perte de la conscience de soi, etc. Elle se définit ainsi pour deux variables X et Y :

$$\rho_{X,Y} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$$

Avec *cov* la covariance entre X et Y et σ l'écart type.

Dans les textes de recherche sur le flow on retrouve souvent le terme *sous-échelle du flow*. Ce terme désigne en fait la variable aléatoire assignée à une dimension précise du flow. De même, le "flow global" peut lui aussi être exprimé par une variable aléatoire. Par la suite, nous verrons des modèles qui iront donc jusqu'à 10 variables aléatoires, et nous désignerons par la lettre ρ leur corrélation.

A noter que le terme adéquat serait intercorrélacion mais on trouve souvent dans la littérature ce raccourci.

1.3.3 Analyse factorielle confirmatoire et validité de la construction

Lorsqu'on crée un outil de mesure, il est important de déterminer la **validité de la construction**. On peut la définir ainsi : c'est le degré auquel un outil mesure ce qu'il prétend mesurer. Pour prendre un exemple trivial, si le test est "mesurer une distance de 1 m" et notre outil est une règle de 90 centimètres, alors le coefficient de validité de la construction

est 0.9. Ce coefficient se trouve sous le nom de **GFI** dans la littérature : c'est l'acronyme de *Goodness of Fit*.

Une des méthodes employées en sciences sociales pour parvenir à de tels résultats est l'**analyse factorielle confirmatoire**, qui est une famille de l'analyse factorielle en statistiques dédiées à l'exploitation de larges tableaux de données. Nous ne rentrerons pas dans les détails mais cette méthode utilise entre autres le test statistique du Chi-2 pour établir la corrélation entre un modèle et une hypothèse. Le coefficient **GFI** de corrélation est un outil qui nous permet de juger de la pertinence d'un modèle. Généralement, un coefficient supérieur à 0.9 est considéré comme significatif lorsqu'on est dans le domaine de la psychométrie. On peut également noter que le logiciel le plus couramment utilisé pour effectuer ces tests est EQS (pour Windows), que l'on retrouve dans plusieurs publications.

1.4 La mesure du flow

La nature subjective du flow et sa description à 9 dimensions posent des problèmes que des modèles statistiques cherchent à résoudre, en construisant des échelles de mesure, depuis les années 80. A travers la description des modèles de mesure, nous allons voir quelles sont les forces et les faiblesses de telles approches. Toutes visent à répondre à une seule et même problématique : fournir un instrument pour permettre de mieux connaître le flow.

Ces modèles ont été créés récemment et une grande partie de la recherche autour d'eux est consacrée à la question suivante : dans quelle mesure sont-ils des indicateurs valables de la variable qu'il prétendent analyser ?

La majorité de la littérature disponible étant rédigée exclusivement en anglais, certains concepts seront évoqués directement dans le texte, pour éviter des traductions maladroit.

1.4.1 Experience-Sampling Method

Le nom de cette méthode peut se traduire par "échantillonnage de l'expérience". On la désigne aussi par le nom de "méthode du journal de bord". Elle consiste à demander aux participants d'une étude à consigner par écrit leurs pensées, leurs sentiments et comportements de manière ponctuelle, régulière et fréquente. Elle a été élaborée en grande partie spécialement pour l'étude du flow (CSIKSZENTMIHALYI et LARSON, 1983). Pour éviter le biais,

les participants à l'étude portent en permanence sur eux un bipéur électronique qui se déclenche à intervalles aléatoires dans la journée : c'est le signal qu'il faut remplir le document fourni.

Ensuite, à mesure que les données s'accumulent, les chercheurs vont tenter de prouver des corrélations, comme par exemple que les participants font état d'une satisfaction plus grande après un repas, afin de prouver une hypothèse.

Le concept de flow étant empirique, l'hypothèse de Csikszentmihalyi est donc que le flow existe et il tente de le corrélérer aux 9 éléments. Il publie une étude sur la validité d'un tel modèle 4 ans après l'avoir utilisé pour la première fois (CSIKSZENTMIHALYI et LARSON, 1987). La conclusion de l'étude est que malgré une mise en oeuvre fastidieuse, la méthode fournit des résultats valides. Elle constitue un apport intéressant dans le cadre des méthodes "autonomes" de collectes des données.

Si dans les années 80 l'emploi d'une telle méthode pouvait paraître fastidieux, avec la nécessité de fournir les boîtiers et de collecter les données à la main, ce n'est plus le cas aujourd'hui. Les smartphones présents sur nous en permanence fournissent une masse de données qui est une mine d'or pour les chercheurs en psychologie comportementale, ce qui permet un retour à grande échelle de cette méthode. On pense notamment à des applications de la firme Google comme *Google Fit*, qui enregistre tous les déplacements des usagers d'Android (BLAAUW, 2016). Nous reviendrons d'ailleurs plus bas sur ce type d'applications qui utilisent des éléments du flow comme moyens de fidéliser leurs utilisateurs.

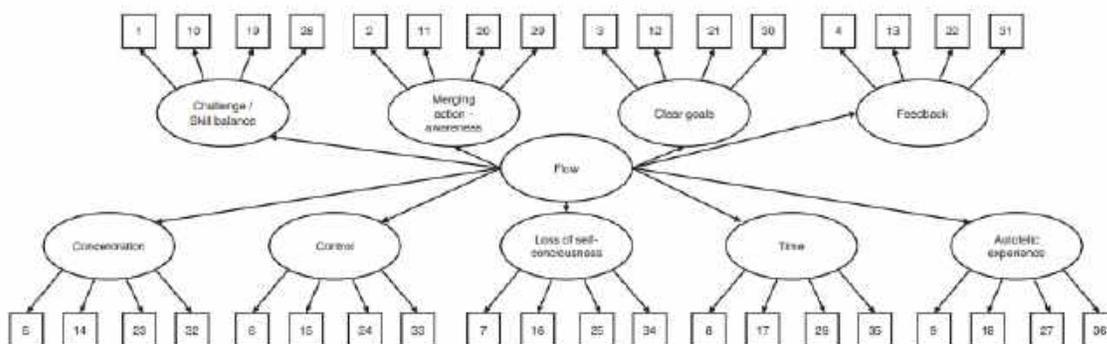
1.4.2 FSS et DFS

Ces deux acronymes désignent l'échelle de flow élaborée par deux psychologues du sport qui ont dédié leur carrière à l'étude du flow (JACKSON et MARSH, 1996). Nous allons étudier plus particulièrement ce qu'est la FSS, la Flow-State Scale, que l'on peut traduire simplement par échelle du flow. Elle est venue au jour avec sa soeur jumelle, la DFS (Dispositional Flow Scale : échelle dispositionnelle du flow) et leurs ont succédé dans les années qui suivirent la FSS-2 et DFS-2 (JACKSON et MARSH, 2002).

Jackson et Marsh constatent l'insuffisance de la technique de Csikszentmihalyi et Larson, tout en s'inscrivant dans la continuité de leurs travaux. En effet, il n'est pas question ici de mettre en doute la théorie du flow et le modèle théorique est exactement le même. Ils visent à créer un outil capable de mesurer simultanément selon les 9 dimensions du flow.

Voyons en détail comment ils ont élaboré la FSS : l'échelle prend la forme d'un questionnaire qui est reproduit ici en [annexe 1](#). Au départ, les chercheurs ont préparé 54 énoncés (ou items) de type "échelle de Likert" à 5 degrés, ce qui correspond à 6 items par dimension du flow. Par exemple l'item 3, "Je savais clairement ce que je devais faire" est relié à la dimension : Objectifs univoques. De même, l'item 16 : "Je n'étais pas inquiet de ma performance pendant l'évènement" est relié à la dimension : Paradoxe du contrôle.

Ensuite, une équipe de spécialistes du sujet a retravaillé les questions afin de maximiser la pertinence et réduire les redondances : le nombre de questions est donc réduit à 36, c'est à dire 4 items par dimension. Cette réduction du nombre de questions a aussi le mérite d'éliminer le biais induit par la lassitude des participants. La pertinence de l'échelle a ensuite été testée lors d'une étude pilote menée sur $n = 244$ hommes et femmes aux profils tous différents. Ils pratiquaient tous un sport depuis au moins un an et depuis au maximum 37 ans. Tous les sports quasiment étaient représentés. On leur a demandé de se souvenir d'un moment où ils étaient en train de pratiquer leur sport qui était particulièrement agréable et ensuite de s'attaquer au questionnaire.



Structure de la DFS : Les flèches représentent les corrélations

Le premier résultat récolté par cette étude est que, lors du moment évoqué par les participants, ils ont évalué (en moyenne et sur une échelle de 10) à 8,3 leur niveau de défi et à 7,3 leur niveau de compétence déployé. On retrouve là des informations en concordance avec la définition même du flow. Le reste de l'étude de 1996 présente des résultats encourageants à propos de la validité de la construction avec des coefficients de Cronbach $\alpha > 0,8$ pour la plupart des groupes d'items correspondant aux dimensions du flow.

Là où la FSS porte sur une expérience particulière de flow, la DFS (Dispositional Flow Scale) est une échelle également basée sur ces 36 items mais qui vise à étudier la fréquence des expériences optimales.

En 2002 voient le jour la FSS-2 et la DFS-2, qui prennent également la forme d'un questionnaire à 36 items. Le but est ici de peaufiner le modèle et d'améliorer la validité de la construction en obtenant des coefficients de corrélation toujours plus grands. Nous verrons dans la suite que ces échelles sont très largement utilisées dans les études sur le flow.

1.5 Domaines d'études de l'expérience autotélique

Afin de continuer notre tour d'horizon de la recherche sur flow, nous avons sélectionné trois articles scientifiques qui s'intéressent à des domaines différents. En effet, la DFS et la FSS ayant été à l'origine développées autour du monde du sport, il est intéressant de voir à quel point ces mesures restent pertinentes. Sont-elles flexibles au point de s'appliquer à la pratique instrumentale ? Au jeu vidéo ? A notre consommation d'applications mobiles ? Nous tenterons de répondre à la question suivante : Qu'est-ce que les résultats de ce corpus d'études nous permettent d'apprendre sur la nature du flow ?

1.5.1 Flow et jeu vidéo

Il était impossible de ne pas aborder la question du jeu vidéo tant cette activité est propice à provoquer le flow. C'est donc naturellement que la recherche, d'abord focalisée sur les pratiques sportives, s'est penchée sur ce média universellement répandu.

En guise de fil conducteur, nous suivons l'article *The psychometric properties of dispositional flow scale in internet gaming* (JOHN WANG, LIU et KHOO, 2009). Comme l'indique son titre, cette étude s'inscrit dans la continuité des travaux de Jackson et Marsh. L'enjeu est ici de voir si la DFS, ou échelle dispositionnelle du flow, se prête à la mesure du flow dans le cadre de la pratique du jeu vidéo sur internet.

On y apprend que l'étude a été menée sur $n = 1578$ jeunes entre 12 et 17 ans. Le questionnaire utilisé est une variante de la DFS, avec 36 items qui sont, selon les auteurs, une adaptation de l'échelle au jeu vidéo. Malheureusement, le questionnaire n'est pas fourni dans l'article. Toutefois, le reste de la publication laisse à penser qu'il est en tout point identique à celui fourni en [annexe n°1](#) avec des reformulations spécifiques au monde du jeu vidéo.

A partir des données récoltées, les chercheurs visent à valider deux modèles différents :

- le premier est un modèle à 9 facteurs : les 9 dimensions du flow
- le second est un modèle à 9 + 1 facteurs : ils rajoutent un facteur de "flow global".

Après analyse des résultats, les résultats obtenus avec le deuxième modèle se révèlent plus probants. Cette manière de séparer le flow global de ses composants se retrouve souvent dans la méthodologie de la psychométrie, et permet des interprétations plus fines.

Le premier résultat fort se trouve dans l'étude des coefficients de corrélation des facteurs deux à deux : les valeurs sont très élevées. Nous avons simplifié ici le tableau des résultats pour le rendre plus compact :

Facteur	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9
F_1 Equilibre	1,00								
F_2 Fusion	0,92	1,00							
F_3 Objectifs	0,91	0,85	1,00						
F_4 Feedback	0,92	0,85	0,96	1,00					
F_5 Concentration	0,90	0,86	0,95	0,95	1,00				
F_6 Contrôle	0,90	0,85	0,96	0,96	0,95	1,00			
F_7 Conscience	0,69	0,71	0,67	0,67	0,71	0,72	1,00		
F_8 Temps	0,68	0,71	0,69	0,66	0,73	0,66	0,59	1,00	
F_9 Autotélique	0,89	0,84	0,89	0,88	0,90	0,87	0,68	0,83	1,00

On a donc pour cette étude, après avoir appliqué les intervalles de confiance :

$$0,56 < \rho_{i,j} < 0,96,$$

ce qui est à mettre en comparaison avec les coefficients de corrélation de JACKSON ET MARSH (2002), dans une étude consacrée à la pratique sportive, qui avait été réalisée avec la même méthodologie :

$$0,23 < \rho_{i,j} < 0,77$$

Le reste des indicateurs psychométriques calculés à partir de l'étude confirment que la DFS-2 est adaptée au jeu vidéo. De plus, cela confirme que cette mesure reste valable auprès d'adolescents et ce, pour les deux sexes.

Comment expliquer ces coefficients de corrélations très marqués entre les facteurs ? La

théorie proposée en conclusion de l'article est que le jeu vidéo étant moins exigeant physiquement que le sport, les facteurs cognitifs sont donc prévalents et fortement corrélés. Il s'agit en particulier de la fusion de l'action et de l'attention, de la concentration et des objectifs univoques.

Il est à déplorer que cette étude traite seulement du "jeu en ligne" de manière très généraliste et ne mette pas à disposition le questionnaire DFS. Néanmoins, la fin de l'article ouvre sur l'intérêt de poursuivre les recherches en fonction du type de jeu (massivement multijoueur, action, gestion, etc.) et d'intégrer au modèle d'autres variables comme le comportement addictif et obsessionnel lié à une surconsommation de jeux vidéos.

1.5.2 Flow et pratique instrumentale

Continuons notre tour d'horizon des domaines d'application du flow avec l'article *Flow Among Musicians : Measuring Peak Experiences of Student Performers*, dont le titre se traduit par la mesure de l'expérience optimale chez des élèves musiciens. (SINNAMON, MORAN et O'CONNELL, 2012). La mesure utilisée est encore une fois la DFS-2. Tout l'enjeu est de tester la pertinence du modèle dans un autre cadre : à quelle fréquence vit-on l'expérience optimale lorsqu'on joue d'un instrument de musique ?

On constate qu'en 2012, les auteurs dénombrent une poignée de travaux publiés pertinents traitant de la question. Parmi ceux-ci, on peut citer un premier article (FRITZ et AVSEC, 2007) qui, en explorant les relations entre le flow et le bien-être de musiciens, se conclut sur l'hypothèse que les 9 dimensions du flow n'ont pas le même poids dans ce contexte particulier. De plus, la version courte de la DFS-2 (1 item par dimension, c'est-à-dire 9 items seulement) a déjà été appliquée sur des musiciens et sa validité prouvée car le coefficient de Cronbach obtenu était $\alpha = 0,73$ (MARTIN et JACKSON, 2008).

Les objectifs préliminaires de cette étude étaient les suivants :

- Déterminer si les 9 dimensions du flow ont toutes le même poids dans l'expérience optimale. On retrouve ici un thème souvent repris dans les études que nous citons dans ce mémoire.
- Savoir dans quelle mesure l'échelle du flow DFS-2, à l'origine développée pour la psychologie du sport, peut convenir pour la pratique instrumentale.
- Dégager une différence, ou non, dans le ressenti du flow entre un groupe de musiciens

qualifié d'amateur et un autre d'élite.

Le test en lui même a été réalisé sur un échantillon de $n = 205$ individus, parmi lesquels 125 appartiennent au groupe *amateur* et 80 appartiennent au groupe *élite* : ce sont ceux qui ont l'ambition de devenir professionnels. Tous pratiquent depuis au moins 8 ans leur instrument. Encore une fois, l'article ne fournit pas le questionnaire DFS-2 qui a été employé, mais précise que certains énoncés ont été remaniés pour convenir au champ de la musique.

On apprend que l'étude s'est révélée fiable, avec un coefficient de Cronbach global $\alpha = 0,92$, avec des coefficients internes, c'est-à-dire pour chaque dimension, compris entre 0,72 (objectifs univoques) et 0,91 (feedback), résultats qualifiés d'impressionnants par les chercheurs. Toutefois, il est impossible de réaliser une analyse factorielle confirmatoire dans ce cas car le logiciel recommande un échantillon d'au minimum 360 occurrences. Nous ne disposons donc pas de coefficient GFI, mais tous les autres indicateurs montrent que la DFS-2 est adaptée.

L'étude fournit un tableau de corrélations des variables entre elles et par rapport au flow global. Nous le synthétisons ici :

Facteur	F_0	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9
$F_{0Global}$	1,00									
$F_{1Equilibre}$	0,65	1,00								
$F_{2Fusion}$	0,52	0,32	1,00							
$F_{3Objectifs}$	0,58	0,38	0,16	1,00						
$F_{4Feedback}$	0,57	0,27	0,16	0,40	1,00					
$F_{5Concentration}$	0,71	0,39	0,19	0,39	0,45	1,00				
$F_{6Controle}$	0,76	0,47	0,25	0,51	0,41	0,56	1,00			
$F_{7Conscience}$	0,46	0,24	0,12	-0,05	0,11	0,32	0,29	1,00		
F_{8Temps}	0,58	0,25	0,37	0,13	0,17	0,23	0,26	0,21	1,00	
$F_{9Autotelique}$	0,74	0,35	0,38	0,42	0,30	0,45	0,53	0,16	0,47	1,00

On constate que certaines corrélations sont non significatives : par exemple, les objectifs univoques et la transformation du temps ($\rho_{8,3} = 0,13$), ou encore la perte de la conscience de soi et le feedback ($\rho_{7,4} = 0,11$). De plus, les valeurs de corrélation par rapport au flow global sont variables, ce qui conforte l'idée que toutes les dimensions n'ont pas le même poids. Finalement, l'article met l'accent sur la perte de conscience de soi, qui corrèle très faiblement avec toutes les autres variables. Ces résultats en demi-teinte doivent nous mettre

en garde contre l'interprétation enthousiaste, peut-être hâtive, de telles études : ainsi, si l'on identifie un très haut niveau de flow mais que la corrélation avec des éléments clés du flow est faible, c'est peut être qu'il n'y a pas de flow du tout.

Des interprétations intéressantes sont aussi possibles par rapport à la division entre les échantillons *élite* et *amateur*. Il n'y a pas de différence significative dans la fréquence des expériences de flow des deux catégories, mais des disparités apparaissent dans les sous-échelles : on trouve chez les amateurs des scores plus bas sur l'équilibre en défi et compétence, plus bas sur les objectifs univoques, mais plus hauts sur la perte de conscience de soi. Ainsi, il est tentant de supposer que le musicien amateur trouve son expérience optimale dans la pratique elle-même, et que le professionnel s'accomplit dans la réalisation d'objectifs qui présentent un défi ambitieux.

On retrouve en bilan de cette étude que le flow se mesure différemment selon l'activité, ce que nous avons déjà entrevu avec le jeu vidéo. De plus, on voit apparaître une première faiblesse de la DFS-2 : pour la mesure de quelque chose d'aussi volatil que la *perte de la conscience de soi*, l'outil commence à afficher des limites.

1.5.3 A l'intersection du sport et du jeu : cas de la ludification

La **ludification** (*gamification* en anglais) est un terme récent (CAMPBELL, 2011) qui désigne l'action d'intégrer des mécanismes de jeu à une activité. Même si l'appellation est neuve, nous avons tous déjà expérimenté la ludification. On la retrouve particulièrement dans le domaine de l'éducation, pour rendre l'apprentissage plus plaisant : par exemple l'application Duolingo pour apprendre une langue étrangère. Un exemple qui fait sourire est le site *chorewars.com* qui propose à des gens vivant ensemble de représenter les tâches ménagères qu'il effectuent comme des aventures à la manière d'un jeu de rôle, pour lesquelles on gagne de l'expérience et de l'or.



Pong, personnage de l'auteur sur chorewars.com, site créé par Kevan Davis



Course à pied du matin

19 juillet à 09:34 – 10:32

116 9 151

Vos efforts supplémentaires ont payé !

Vous avez gagné des points cardio supplémentaires grâce à une séance de plus forte intensité. Les exercices qui font davantage travailler le cœur peuvent être très bénéfiques pour la santé.

[Ignorer](#) [En savoir plus](#)

On voit aussi fleurir les applications mobiles de remise en forme ou d'entraînement sportif qui utilisent également ce principe. Ci-contre, une capture d'écran de l'application *Google Fit* qui attribue des "points cardio" en fonction de l'intensité et de la durée des activités, que ce soit course, vélo ou marche à pied. On retrouve bien les mêmes principes que dans un jeu vidéo : remplir une quête, gagner des points, etc. Certaines applications vont même jusqu'à intégrer la dimension multijoueur, comme l'une des références en la matière, *Strava*, qui permet de se comparer, amicalement et compétitivement, avec ses amis et même des athlètes professionnels. Et si, avec la démocratisation de telles applications, l'individu était davantage susceptible de ressentir le flow dans sa vie quotidienne ? C'est le sujet de l'article *Measuring flow in gamification*

: DFS-2 (HAMARI et KOIVISTO, 2014) que nous allons analyser en détail.

L'étude sur laquelle s'appuie cet article s'inscrit vraiment dans la continuité de ce que nous avons vu précédemment : un échantillon de $n= 200$ sportifs usagers de l'application *Fitocracy*, qui fonctionne sur le même principe que *Strava* ou *Google Fit*, est soumis à un questionnaire de type DFS-2. Cette étude est particulièrement intéressante car elle ne s'est pas arrêtée à une simple CFA (Analyse factorielle confirmatoire) sur le modèle standard de la DFS-2, bien que celui-ci donne de bons résultats : indice **GFI = 0.89**. Les chercheurs ont essayé de peaufiner le modèle, notamment en omettant certains facteurs du flow et en réorganisant les items, comme sur l'image ci-dessous :

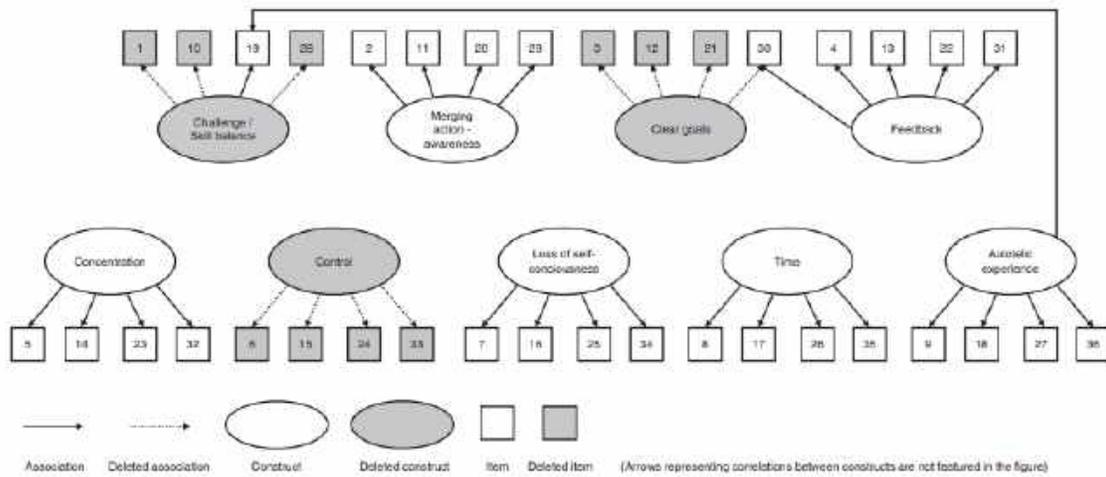


Fig. 5. Respecification via omitting items.

Les items grisés ont été omis. On distingue aussi une redirection de l’item 19 vers l’expérience autotélique. Malheureusement, encore une fois, les énoncés des items ne sont pas fournis. Nous apprenons que l’analyse factorielle confirmatoire donne un **GFI = 0.955** avec ce modèle, ce qui est une excellente valeur. Nous n’irons pas plus loin pour expliciter les méthodes qui ont été employées, car elles sont complexes et dépassent largement le cadre de ce mémoire. On citera seulement l’Analyse Factorielle Exploratoire, qui est en résumé une large batterie de calculs statistiques successifs destinés à déterminer quelles variables ont le plus de corrélation entre elles, sans les avoir reliées *a priori*.

Outre de démontrer que la mesure du flow est pertinente dans le cas de l’usage d’applications ludifiées, cette étude est intéressante car elle essaie de perfectionner le modèle, de mettre en évidence la redondance ou l’inutilité de certains items de la DFS-2. Il est possible avec les méthodes statistiques de pointe de laisser l’ordinateur calculer quelles sont, selon lui, les mesures les plus pertinentes de l’état de flow. Mais qu’en est-il vraiment ? Un modèle parfait est-il possible ?

1.6 Au delà du flow : perspectives

Jusqu'ici, nous avons effectué un tour d'horizon chronologique de l'histoire de la mesure du flow en psychométrie. Les modèles sont de plus en plus complexes et reposent sur des outils statistiques de plus en plus perfectionnés. Il est désormais temps de s'intéresser aux avancées les plus récentes en la matière : la DFS-2 a-t-elle fait son temps ? Existe-t-il d'autres moyens de caractériser l'expérience optimale ?

1.6.1 Limites du modèle

Pour illustrer à quel point, récemment, les modèles ont été poussés à l'extrême, nous avons choisi de présenter ici l'article *A meta-analysis of flow effects and the perception of time* (HANCOCK, KAPLAN et CRUIT, 2019)[trad. littérale : Une méta analyse des effets du flow sur la perception temporelle]. Il s'agit d'une méta-analyse, c'est-à-dire une analyse qui puise ses données dans d'autres études précédentes. Un tel travail se nourrit de toute la recherche effectuée précédemment. A la manière de la loi des grands nombres en statistiques qui dit que, plus l'échantillon étudié est grand, plus le résultat tend vers sa valeur moyenne, une telle étude a pour vocation de fournir un résultat à la valeur universelle.

Dans un premier temps, il est rappelé que le flow, en tant que concept abstrait, est difficile à quantifier. Le choix de se concentrer sur la perception du temps est justifié ainsi : premièrement, c'est un aspect jugé fondamental de l'état de flow, c'est un facteur significatif de l'expérience optimale. Deuxièmement, le temps est une donnée que l'on peut mesurer quantitativement : une perception du temps peut être décalée de x secondes, minutes, etc.

Mesurer la perception du temps

Il existe deux méthodes principales dans la littérature :

- La méthode d'**estimation verbale** dans laquelle les participants doivent estimer en parlant la durée écoulée (HORNSTEIN et ROTTER, 1969).
- La méthode de **production** qui consiste pour le sujet à appuyer sur un bouton lorsqu'il pense qu'un certain intervalle de temps s'est écoulé (BINDRA et WAKSBERG, 1956).

Méthodologie de sélection du corpus pour la méta-analyse

Les données recherchées pour l'étude sont les **tailles d'effet** de la perception du temps sur le flow. On peut définir ainsi la taille d'effet : c'est une mesure de la force de l'effet observé d'une variable sur une autre : ainsi la corrélation est une de ces tailles d'effet. On l'a vu, les calculs de corrélation sont un passage obligé dans toute étude statistique rigoureuse.

Pour commencer la constitution du corpus, les chercheurs ont d'abord intégré toutes les études citées dans *Optimal Experience : Psychological studies of flow in consciousness* (CSIKSZENTMIHALYI et CSIKSZENTMIHALYI, 1992), qui est par ailleurs qualifié de texte fondateur de la recherche sur le flow.

Le reste des publications a été trouvé sur 7 moteurs de recherche scientifique différents : Google Scholar (Alphabet Inc., Mountain View, CA), EbscoHost (EBSCO Information Services, Ipswich, MA), ProQuest (ProQuest LLC., Ann Arbor, MI), ScienceDirect (Elsevier, Netherlands), Web of Science (Clarivate Analytics, Philadelphia, PA), et JSTOR (Ithaca Harbors Inc., New York, NY).

La recherche a été effectuée en explorant toutes les combinaisons possibles de mots clés selon ce tableau :

Table 2
Primary and secondary search terms.

Primary search terms	Secondary search terms
"time perception"	"engagement"
"time estimation"	"optimal state"
"subjective time"	"optimal experience"
"perceived time"	"flow"
"perception of time"	

Chaque terme primaire est associé à chaque terme secondaire et injecté dans les 7 moteurs de recherche

Ensuite, les articles contenant au moins une des associations en termes exhaustifs sont passés au crible selon les critères suivants :

- La publication doit être en anglais.
- Les auteurs doivent donner accès à leurs données expérimentales.

- Les auteurs doivent fournir les tailles d'effet ou les moyens d'y accéder par le calcul.
- La population qui participe aux tests doit être majeure et ne pas appartenir à des groupes d'âge spécifiques.
- Les publications doivent être issues de revues de recherche, de conférence ou de livre.

Après toutes ces étapes, ont été retenus 63 articles pour un total de $n = 1094$ tailles d'effet. Cela couvre une période allant de 1988 à 2017, ce qui représente 30 ans de recherche sur le flow.

Résultats

A la suite de lourds calculs, les résultats de l'étude sont présentés dans des tableaux. Nous nous intéressons en particulier à deux d'entre eux :

Total Flow (IV) vs. Transformation of Time (DV).

DV	k	Weighted r	CI (95%)
Total	14	0.13	[0.05, 0.20]
Affective	13	0.14	[0.07, 0.21]
Quantitative	2	-0.09	[-0.25, 0.08]

Résultats du calcul : Flow total versus Transformation de la perception temporelle

Ce qui apparaît dans le cadre rouge est la taille d'effet pondérée de la déformation de la perception du temps sur le flow total. A quoi nous attendions-nous? Faisons un rapide calcul : avec le postulat "Toutes les dimensions du flow ont un poids égal dans la constitution du flow global", les valeurs des tailles d'effet doivent converger vers $1/9 = 0,11$. Si nous cherchons à tester l'hypothèse "La modification de la perception du temps à une impact supérieur à la moyenne par rapport aux autres dimensions du flow", nous cherchons $r_{Temps} > 0,11$. Or c'est bien le cas ici avec $r_{Temps} = 0,13$.

Malheureusement, c'est insuffisant pour tirer une conclusion : en effet le résultat important est l'intervalle de confiance à 95 %, qui nous apprend que la valeur réelle est comprise en 0,05 et 0,20. Impossible donc de conclure.

Aspects of Flow (IV) vs. Total Transformation of Time (DV).

IV	k	Weighted <i>r</i>	CI (95%)
Affective	5	0.40	[0.34, 0.45]
Consciousness	7	0.21	[0.13, 0.29]
Performance	3	0.17	[0.07, 0.26]

Résultats du calcul : Aspects du flow versus Transformation de la perception temporelle

Dans le second tableau on distingue une seule corrélation significative : celle de la transformation du temps avec les facteurs **affectifs** du flow, à savoir l'expérience autotélique et le sentiment de contrôle. Ceci confirme donc que la déformation de la perception du temps est aussi quelque chose qui a trait à l'affect. Ensuite, beaucoup moins corrélés, on retrouve les aspects du flow liés à la **conscience**, à savoir la perte de conscience de soi, la concentration et la fusion de l'action et de l'attention et enfin, les aspects **performatifs**, c'est à dire le feedback, les objectifs univoques et l'équilibre entre défi et compétences. Les coefficients de corrélation sont vraiment bas avec des intervalles de confiance trop grand pour pouvoir en tirer quelque chose.

Conclusions

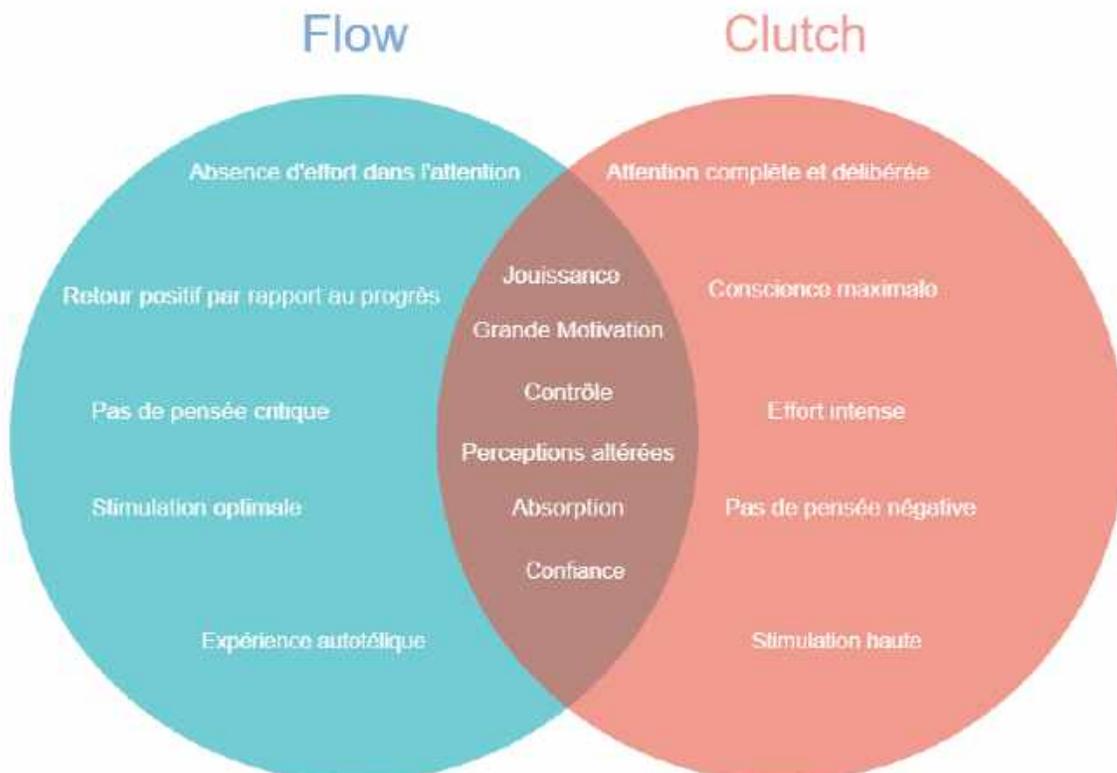
Les résultats de cette méta-analyse, pourtant très ambitieuse dans sa réalisation (nous avons passé sous silence certains des autres calculs réalisés) sont mitigés. Les auteurs reconnaissent même que 0 fait parfois partie des intervalles de confiance. Le résultat essentiel qui s'en dégage est que la déformation de la perception du temps est corrélée aux facteurs affectifs, mais pas forcément au flow global. L'article émet la possibilité que c'est peut-être notre modèle qui est faux. Il faut sans aucun doute faire évoluer nos modèle, et y intégrer la possibilité que la déformation de la perception du temps soit aussi catégorielle ? Et le flow en lui-même est-il un état, ou une gamme d'états ?

Autant de questions, encore aussi ouvertes après plus de 30 ans de recherche sur le flow, mènent à penser que peu importe la puissance des outils statistiques que nous utiliserons, l'essence du flow peine à être mise en évidence par cette approche dimensionnelle. Même si cette étude n'est pas totalement concluante, elle met le doigt sur de nombreux problèmes de la manière dont le flow est appréhendé. Après toutes ces années sur un modèle dimensionnel peu contesté, peut-être est-il temps de faire bouger les choses.

1.6.2 Vers une nouvelle description : le clutch

Le terme **clutch**, qui n'a pas d'équivalent simple en français, désigne le fait d'être extrêmement performant dans des situations aux forts enjeux et sous forte pression. Des recherches récentes conduites par Christian Swann (SWANN et al., 2016a) (SWANN et al., 2016b) ont visé à l'établissement d'un modèle nouveau, ajoutant cette notion de clutch au cadre déjà bien défini du flow. La méthodologie employée a été l'interview pluridisciplinaire d'athlètes de haut niveau. Les résultats de ces entretiens sont synthétisés dans l'article *New directions in the psychology of optimal experience in sports : flow and clutch states* [trad. : Nouvelles directions en psychologie de l'expérience optimal en sport : états de flow et de clutch] (SWANN, CRUST et VELLA, 2017).

Ainsi, on apprend que les athlètes ont tendance à séparer les événements qui se déroulent pendant leur performance en deux classes : ceux qu'ils *laissent arriver* et ceux qu'ils *provoquent*. La première catégorie correspond à ce que nous savons du flow : les choses se passent sans qu'on n'en ait vraiment conscience. La deuxième correspond justement à cette nouvelle notion de clutch : c'est quelque chose de plus actif, qui puise davantage dans les ressources, tant physiques que psychologiques. Il s'avère que les athlètes ont la faculté de passer entre l'un et l'autre des états pendant une seule performance.



Les caractéristiques propres au clutch sont les suivantes : concentration complète et délibérée, très haut niveau de maîtrise de la situation. Là où le flow remplit d'énergie le sujet, le clutch est épuisant à maintenir. Il y a comme un interrupteur qui déclenche le clutch dans les moments de forte pression. En [annexe 3](#) est fourni le modèle où coexistent flow et clutch, qui contient notamment le diagramme de Vern ci dessus.

Ainsi l'article en conclusion met en garde par rapport à l'emploi du cadre d'étude (ou *framework*) traditionnel du flow. En fonction des situations, parfois le clutch est plus pertinent. Nous arrivons ici aux limites de notre sujet qui est consacré au seul flow. Cette partie a pour vocation de faire une ouverture sur la recherche actuelle qui vise à étendre un peu le modèle de flow qui commence à être vieillissant. On a vu précédemment que même des calculs aboutis ne parvenaient pas à percer tous les secrets de la conscience : heureusement, de nouveaux modèles comptent bien y parvenir.

Pour finir, il est à déplorer l'absence totale dans la littérature d'études utilisant une approche catégorielle des états de flow.

2.

Vers une identité sonore pour le flow

Dans son autobiographie, le célèbre tennisman Pete Sampras a écrit, à propos d'un match contre Andre Agassi en finale de Wimbledon 1999 : *J'ai fait le break au début du deuxième set et je rentrais dans la zone, cet endroit où vous jouez comme si vous étiez clairvoyant, dans une légère transe, et où vous avez tout votre temps pour jouer chaque coup* (SAMPAS et BODO, 2008). En une phrase, il propose sa définition personnelle de l'état de flow. C'est son ressenti et pourtant même un sportif amateur peut s'y reconnaître. Et si nous tentions de capturer le flow dans le monde extérieur, à travers ses représentations omniprésentes dans la culture et les arts ?

L'idée de construire une installation interactive autour de ce thème m'est venue naturellement avec la table de Ping-Pong. Il est temps ici d'analyser quelles sont les raisons, conscientes ou non, qui ont amené ce choix.

2.1 Représentations du flow dans la culture populaire

2.1.1 Le flow au cinéma

S'il est un domaine dans lequel le flow est très bien représenté, aussi bien visuellement qu'auditivement, c'est bien au cinéma. Certaines représentations sont même devenues des clichés : on ne compte plus les scènes où le temps se ralentit, ou même se suspend, la mise au point est telle que tout est brouillé à part ce qui est important. Du côté du son, on note souvent des effets de ralenti. Cela n'est pas sans nous rappeler notre analyse dimensionnelle du flow. Pour le représenter au cinéma, les réalisateurs n'hésitent pas à grossir le trait sur l'aspect de la modification de la perception du temps, qui est une méthode de mise en scène

efficace du flow.

Précisons notre propos à travers deux exemples : Le premier est l'évidence même. La scène la plus connue du film *Matrix* (The Wachowskis, 1999) est une leçon en la matière. La scène a été capturée par plusieurs dizaines de caméras fixes pour obtenir un résultat le plus précis possible. Il s'en dégage une impression de grande fluidité. Le mouvement de caméra circulaire montre la cristallisation de l'instant, la concentration. On peut clairement parler de la représentation d'un moment de clutch. Cette scène est connue pour avoir popularisé le *bullet time* au cinéma. Ce terme désigne les scènes tournées tellement au ralenti que même les balles de fusil semblent se mouvoir lentement.



Le second extrait de cinéma choisi comme référence est la scène de *Forrest Gump* (Robert Zemeckis, 1994) dans laquelle le héros, Forrest, joue au ping-pong tel un robot contre un mur lors de son service militaire. Cette scène a inconsciemment, c'est une certitude, influencé le choix du concept de base de l'installation. La scène est rythmée par le son de la balle de ping-pong qui frappe inlassablement la raquette, puis la table, puis la raquette. Ce parti pris de montage son (le bruit de la balle est continu alors que le montage image contient plusieurs *cuts*) a une première fonction narrative, pour montrer le temps qui passe. Deuxièmement, il vient souligner le caractère répétitif de l'activité de Forrest. Celui-ci a souvent un caractère proche de l'obsession, notamment dans cette scène puis lorsqu'il se met à courir pendant des mois. Sa maladie mentale lui donne un esprit proche de celui d'un enfant, or les enfants ne sont-ils pas connus pour être probablement dans une sorte de flow



permanent? (CSIKSZENTMIHALYI, 1975) Indéniablement, on retrouve la des concepts forts que nous tenions à imposer dans *Ping* en accord avec les dimensions du flow : une activité qui est à la fois un défi et à la portée de nos compétences, qui requiert de la concentration, dans laquelle on peut perdre la notion du temps. De plus, cette scène met l'accent sur des mécanismes sonores qui caractérisent le flow : la rythmicité et la répétition d'un son en particulier, un peu à la manière de ce que pratiquent les hypnotiseurs pour mettre en transe leurs sujets.

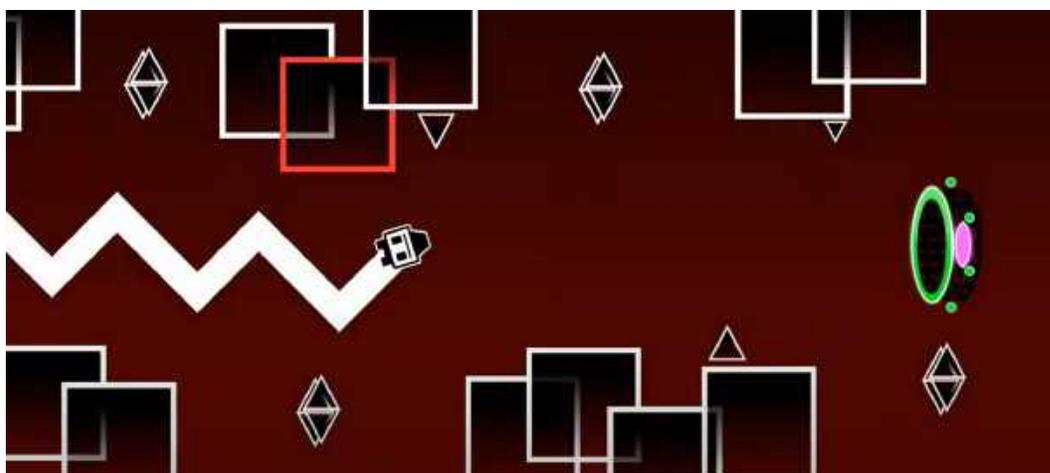
2.1.2 Le flow dans le jeu vidéo

Nous avons dans la partie précédente déjà parlé de la force des jeux vidéos pour provoquer le flow. mais qu'en est-il de la représentation qui en est faite? Le flow est-il utilisé comme une composante à part entière du jeu?

La plupart du temps, les jeux représentent encore et toujours le flow par du *bullet time*. Ainsi de nombreux jeux se sont nourris de l'influence de *Matrix* pour proposer au joueur d'activer un mode ralenti, disponible seulement sous certaines conditions, la plupart du temps dans des jeux de tir. On pense à des jeux emblématiques comme ceux de la série *Max Payne* (Remedy Entertainment), ou plus récemment *Red Dead Redemption* (Rockstar Games). Finalement, ce mode ralenti est juste un recyclage d'un outil cinématographique qui met

également en scène le personnage en état de flow, mais paradoxalement arrive assez peu à impliquer le joueur dans ce flow.

Plus subtilement, des jeux peuvent intégrer des éléments de design qui induisent le flow : le but est alors que le jeu soit fait pour être joué de manière fluide. On pense notamment ici aux *side scroller*, où jeu vidéo à déplacement horizontal, dans lequel le joueur est forcé d'avancer en permanence, par exemple en contrôlant un vaisseau qui tire des missiles dans un univers hostile. Ainsi il est impossible de fixer un point précis car le décor avance et l'on est forcé de se détacher de l'image, et de jouer plus par instinct que par anticipation. La vitesse augmente progressivement pour accompagner le joueur. Pour moi, le jeu qui met le plus en évidence l'emploi de ces mécaniques et une volonté claire d'amener le joueur à être dans le flow est *Geometry Dash* (RobTop Games). Tous les niveaux sont construits tel que le visuel suive le rythme de la musique, et le joueur doit trouver dans ce rythme les indices sonores qui lui permettent d'appuyer à temps sur les touches pour esquiver les obstacles et mener à bien sa course. On retrouve ici la notion de son qui rythme la montée du flow.



Le jeu Geometry Dash : musique rythmée, designs épurés, défilement automatique et vitesse

Une autre force du jeu vidéo est de procurer un considérable *feedback* instantané. Le titre du film *Ecstasy of Order* (Adam Cornelius, 2011) l'illustre bien : ce qui rend le jeu *Tetris* si addictif, c'est la satisfaction de sans cesse ordonner les pièces en lignes parfaites.

Le visionnage de ce film est sans conteste l'une des influences principales ayant conduit à la réalisation de ce mémoire. C'est un film sur un jeu, et ce qui relie les joueurs à ce jeu, c'est le flow qu'ils procurent. Pour finir, il est intéressant de noter que le terme *clutch* est originaire du monde du jeu vidéo compétitif. Il est employé lorsqu'un joueur se tire brillamment d'une situation sous pression, par exemple lorsqu'il est seul face à trois joueurs et les élimine. On pense notamment à des jeux à cinq contre cinq comme le jeu de tir *Counter-Strike* (Valve). Dans le jeu vidéo compétitif, le joueur est dans l'obligation de *provoquer* la réussite, et non

de la laisser arriver.

2.2 Problématique : scénographier le flow

Nous l'avons vu lors de notre recherche bibliographique, le flow ne s'exprime jamais par ses 9 dimensions simultanément. Il serait vain de chercher dans notre projet d'installation à ce que toutes ces dimensions rentrent en jeu. Notre objectif est ici de justifier comment la table de ping-pong s'impose comme un objet propice à représenter le flow.

2.2.1 L'interactivité

Tout d'abord, nous pouvons justifier que la table de ping-pong en elle-même est déjà un objet scénographique sonore. C'est un objet qui s'apparente quelque part à un instrument de musique, nous pourrions même dire à une percussion.

De plus, le joueur utilise un "lien" avec la table car il se sert d'une raquette. Il n'est pas rare que l'on entende, à propos d'un joueur de sport de balle, qu'il "ne fait qu'un" avec sa raquette. A la manière de la manette de jeu vidéo qui fait le lien entre le joueur et la console, l'utilisation d'une raquette permet au joueur de s'en servir comme extension de son corps, ce qui est le début du chemin de la perte de conscience de soi dans l'activité.

Finalement, notre avis est aussi que le ping-pong est un sport ayant une portée universelle. Un des buts d'une installation interactive n'est pas forcément d'être comprise, mais d'être jouée. N'importe qui passant devant la table de *Ping* doit être en mesure de l'essayer, même s'il n'a jamais entendu parler de la notion de flow. Or, tout le monde a un jour essayé le ping-pong, que ça soit à l'école ou ailleurs. Une installation prenant la forme d'un objet quasiment quotidien a plus de chances de réussir à transmettre quelque chose à propos du flow : on l'a vu, le flow nous vient lorsqu'on est dans une zone de confort.

Pour résumer, l'emploi d'un jeu abordable comme le ping-pong a le mérite de regrouper les trois dimensions prérequis du flow :

- C'est une activité qui requiert des **compétences**, sans demander un niveau d'expert.
- Les **objectifs** sont **univoques** : renvoyer la balle contre le mur, le plus longtemps possible.

- Elle fournit un **retour** permanent sous la forme du son de la balle contre la raquette et la table.

2.2.2 Le défi

L'intérêt de jouer au "mur" contre une table de ping-pong est, il faut bien reconnaître, proche de zéro, surtout lorsqu'on est venu pour une création sonore. C'est là que nous devons faire intervenir l'interactivité. Mais sous quelle forme ?

Mis à part les conditions prérequis, il y a peu de dimensions du flow sur lesquelles nous pouvons influencer. Il faut évidemment fournir les conditions pour que le joueur soit en mesure de se **concentrer** : l'endroit doit être clos. Il va donc s'agir d'insister sur le **feedback**, le **défi**, et les **objectifs**. C'est là tout l'enjeu de la création. Ainsi nous sommes donc sur une activité, plutôt sportive à la base, que nous allons traiter comme un jeu vidéo. Si le feedback est intéressant et suffisamment stimulant, alors le public a envie de réessayer, de s'améliorer, et d'explorer le potentiel de l'installation. Pour cela il faut arriver à "augmenter" la table à l'aide de capteurs, afin d'avoir le maximum d'informations sur la manière dont la personne joue, afin de l'accompagner en fonction et de fournir un feedback adapté. Ainsi un joueur débutant qui fait tomber la balle souvent ne doit pas être découragé, et un joueur confirmé pour lequel le défi est assez bas doit être poussé à se dépasser également. Pour cela, nous décidons de placer 8 capteurs, 4 par moitié de table, qui récupéreront les informations suivantes : localisation des impacts de balles, régularité du jeu, nombre d'erreurs. Le but de la chaîne de traitement sera de fournir le meilleur feedback possible en fonction de toutes ces données.

2.3 Quelle création sonore pour l'installation ?

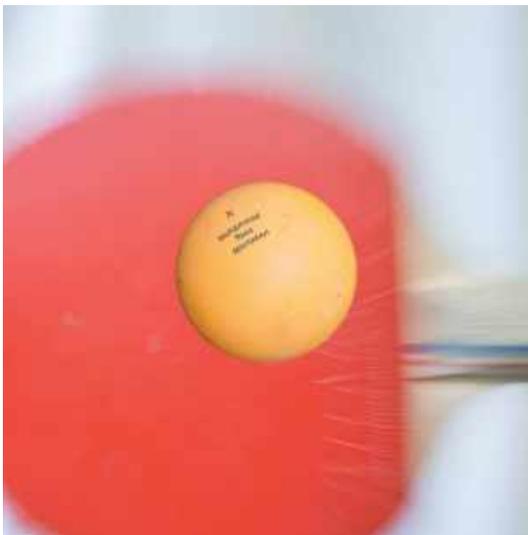
Comment accompagner la percussion naturelle des bruits de balles au mieux pour créer une pièce en direct, différente pour tous les joueurs ?

2.3.1 Une création subjective

Il est important selon moi que la création soit diffusée sur un casque. C'est primordial car on peut imaginer que si quelqu'un qui se débrouille bien avec la raquette joue, et que la

diffusion est sur des enceintes, le reste du public présent verra cela comme une performance, et non une expérience subjective comme cela doit être le cas pour le flow. Ainsi, la vision d'un individu en train de jouer avec un casque sur les oreilles doit intriguer, et servir de premier élément déclencheur de la curiosité envers l'installation. Le casque doit être sans fil pour ne pas gêner la liberté de mouvement. L'idéal serait à terme d'avoir une salle dédiée à Ping, dans laquelle on rentre seule, avec une diffusion sonore en quadriphonie.

2.3.2 Inspirations musicales



L'inspiration musicale principale pour cette installation est la percussion de Mohammed Reza Mortazavi, dont on voit ci-contre la pochette de l'album *Going*. Il s'agit de percussion iranienne, le daf et le tombak, deux instruments extrêmement technique qu'il maîtrise à la perfection. Leurs sonorités sont idéales pour accompagner les sons faits par la balle. Son jeu virtuose peut être qualifié de chamanique, et évoque la transe que l'on peut associer à certaines manifestations du flow.

Nous retrouvons ici les notions de rythme, répétitivité et musicalité que l'on retrouve dans certains jeux vidéos musicaux évoqués plus haut.

3.

Mise en application : illustrer le flow par une installation sonore

3.1 Description technique du projet

On rappelle que le concept derrière l'installation est le suivant : il s'agit d'une table de ping-pong repliée en deux, jouable normalement à la manière du "mur". Je souhaite récupérer les informations suivantes : nombre d'impacts de balles sur la table, ainsi que leur emplacement approximatif. J'avais l'intuition que je pouvais récupérer ces informations à l'aide d'un nombre approprié de capteurs piézoélectriques. A la suite d'une discussion avec Manuel Poletti, réalisateur en informatique numérique à l'IRCAM, qui a réalisé l'installation *Musique de table* avec l'artiste Yves Chaudouët, j'en ai eu la confirmation : il a en effet utilisé pas moins de 16 capteurs piézoélectriques et est parvenu par le traitement des signaux à localiser les impacts d'une balle de ping-pong sur une table.

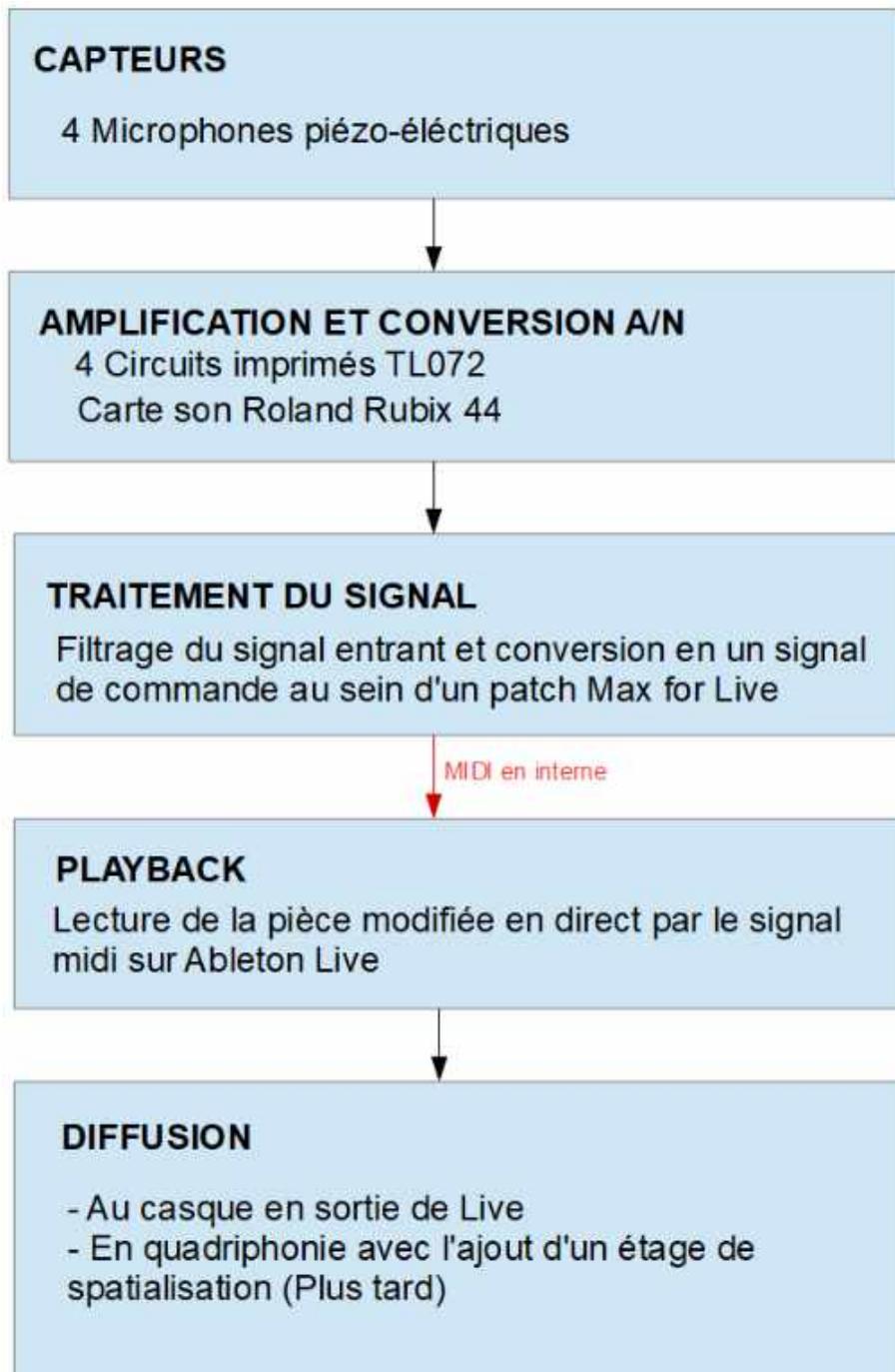
A partir de ces informations, la partie traitement du signal fournit des signaux de contrôle qui commandent la diffusion. Il s'agit d'une pièce basée sur la percussion, jouée en temps réelle et qui s'adapte au niveau de la personne en train de jouer. La partie diffusion est réalisée au casque fermé.

3.2 Prototype

Les circonstances de l'année en cours ont fait qu'il m'a été impossible de mettre en place un tel dispositif en taille réelle, j'ai donc opté pour la solution de réaliser un prototype

transportable sur lequel je pouvais travailler de chez moi. Il s'agit d'une planche en bois avec seulement 4 micros piézoélectriques. Les objectifs de ce prototype sont les suivants :

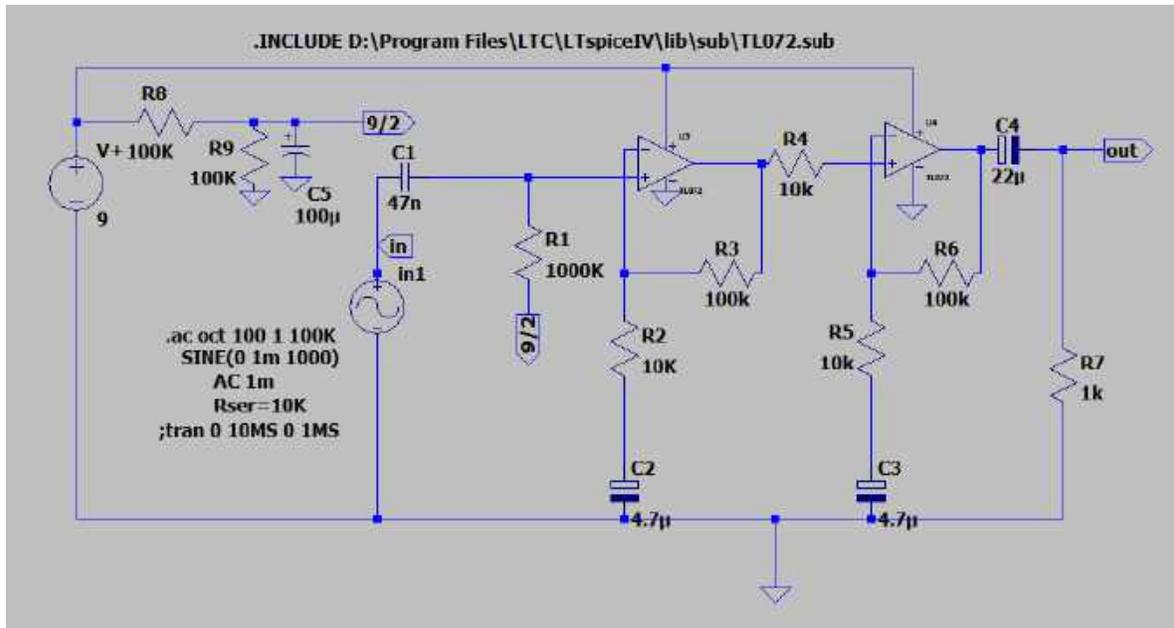
- Démontrer qu'il est possible de déterminer la position d'un impact de balle de ping-pong sur la planche en bois à partir de l'enregistrement du signal sonore.
- Mettre en place la chaîne de traitements décrites plus haut pour pouvoir ensuite l'appliquer sur une installation "jouable"
- Se servir des erreurs, des difficultés éventuelles rencontrées pour perfectionner le cahier des charges de l'installation finale.



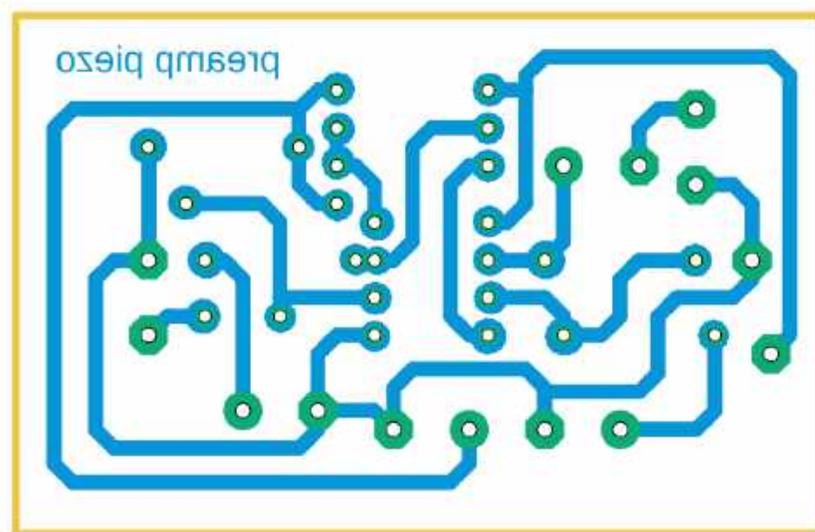
3.2.1 Électronique

La première problématique à résoudre est l'amplification du signal. Typiquement, en sortie des capteurs piézoélectriques que je me suis procurés, l'amplitude est de quelques millivolts. J'ai donc choisi de réaliser une amplification de 40 dB pour obtenir un signal acceptable en entrée de la carte son. Le schéma électrique est le suivant, tel qu'il a été re-

présenté sur le logiciel LTSpice (freeware édité par Mike Engelhardt) lors des simulations. Il



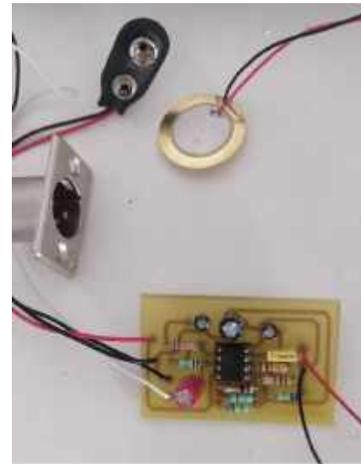
s'agit d'un circuit de préamplification très classique, basé sur le composant TL072 qui est un amplificateur opérationnel à deux étages. Chaque étage réalise une amplification de +20dB avec les rapports $\frac{R_3}{R_2} = \frac{R_6}{R_5} = 10$. A ce stade j'ai choisi de ne pas rendre le gain de préamplification réglable, afin d'avoir des circuits toujours rigoureusement identiques. Après avoir validé mon circuit sur le logiciel de simulation LTSpice, je me suis servi d'Eagle (Aurodesk), aidé par Taieb Keraoun au laboratoire d'électronique, pour dessiner la carte suivante :



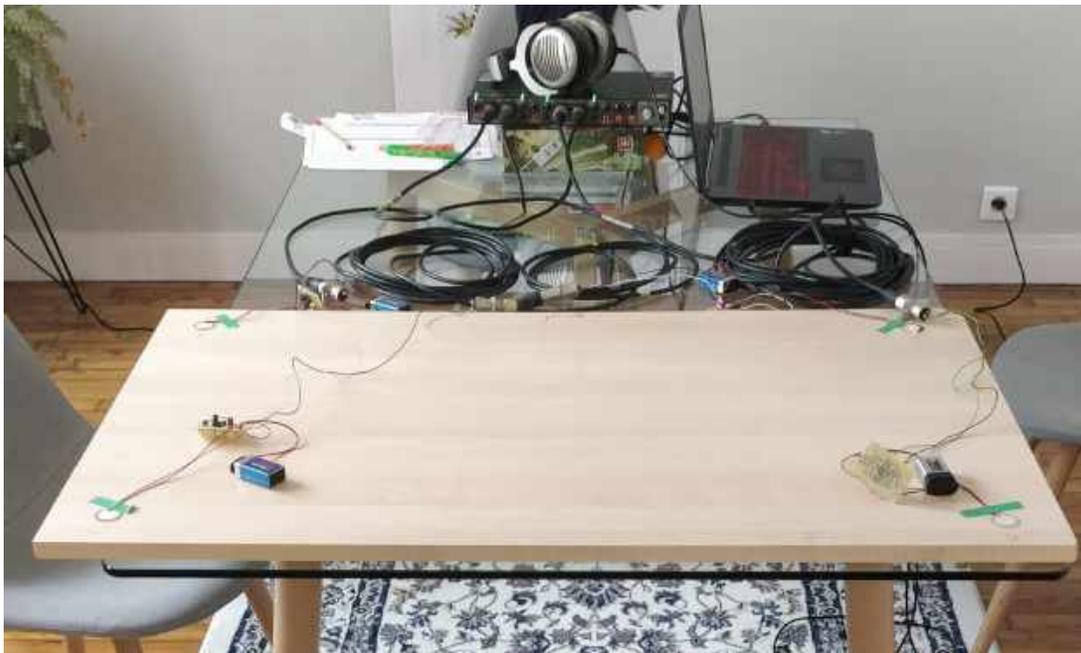
Le résultat est une carte très compacte avec seulement 6 cm de longueur et 4 cm de largeur. Le défi principal était d'avoir des fils peu encombrants et bien placés afin de mettre en place le dispositif facilement.

La photo ci contre fait apparaître la carte ainsi que les différentes connexions qui y sont reliées : le socket pour pile 9V, le capteur piézoélectrique, le connecteur XLR mâle.

Pour la version définitive de l'installation, il est prévu d'utiliser une alimentation 9 Volts plutôt que des piles. Il faut aussi prévoir la construction de 4 cartes de plus pour la partie "mur".



3.2.2 Enregistrement de séquences test



Enregistrement des signaux

N'ayant pas d'espace dédié à la réalisation de l'installation, il fallait trouver un moyen de rentabiliser au maximum le moment où le prototype était en train de fonctionner, ceci pour plusieurs raisons : le dispositif présente un certain encombrement, de plus les batteries 9V que j'ai achetées ont tendance à se vider très vite. J'ai vite abandonné l'idée d'avoir une installation toujours disponible en temps réel. J'ai donc élaboré un protocole de test et

d'étalonnage pour enregistrer le maximum de signaux sur mon disque dur et de pouvoir le traiter plus tard.

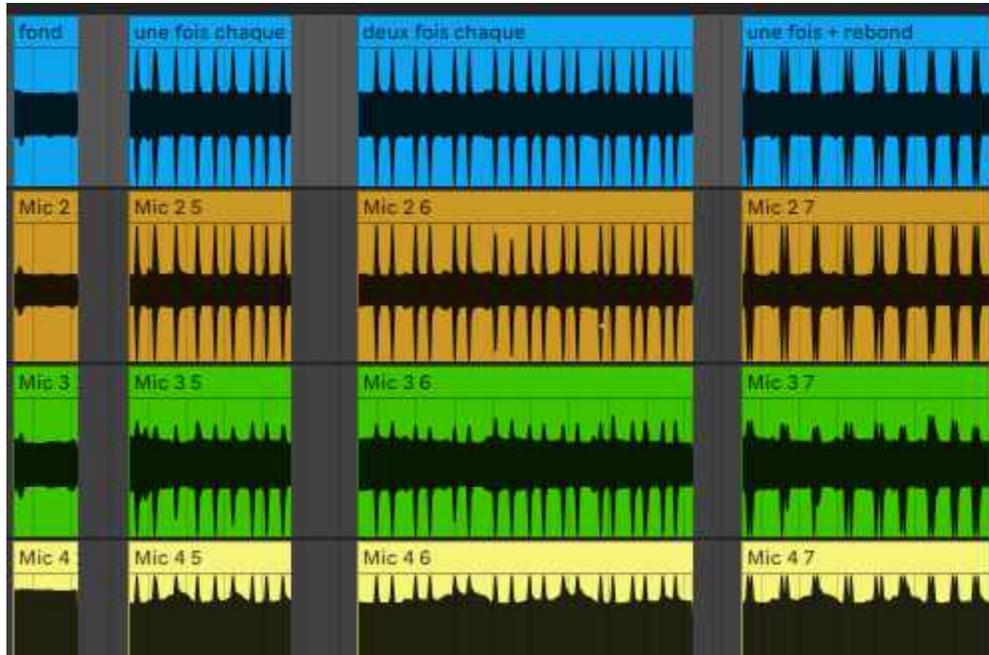
1	2	3
4	5	6
7	8	9

Nous avons donc tracé au marqueur les 9 zones ci-dessus sur la planche : ensuite, à l'aide d'une balle de ping-pong standard, nous avons enregistré une batterie de tests en faisant rebondir dans les différentes zones, suivants différents protocoles. Par exemple, une fois dans chaque zone, une fois avec rebond, en faisant rouler la balle, etc. Le but était de récolter le maximum de données car le dispositif est pesant à déployer si on a besoin d'autres enregistrements. Nous avons également prévu un calibrage : si l'on part du postulat que la propagation du son dans la planche est uniforme et isotrope, et que les capteurs sont placés au 4 coins, alors l'onde enregistrée dans le cas d'un rebond pile au milieu (zone figurée par un cercle) doit parvenir aux 4 capteurs simultanément. Une telle calibration me permettra de lisser les différences éventuelles entre les cartes.

La division en 9 zones est évidemment un clin d'oeil aux 9 dimensions du flow. C'est aussi un découpage un peu plus ambitieux que seulement 4 zones, pour vérifier si par traitement on pourrait effectivement localiser précisément le point d'impact.

3.2.3 Traitement et interprétation du signal

La capture ci-dessous fait apparaître les formes d'ondes des signaux de tests dans *Ableton Live*.



Enregistrement multipiste des séquences

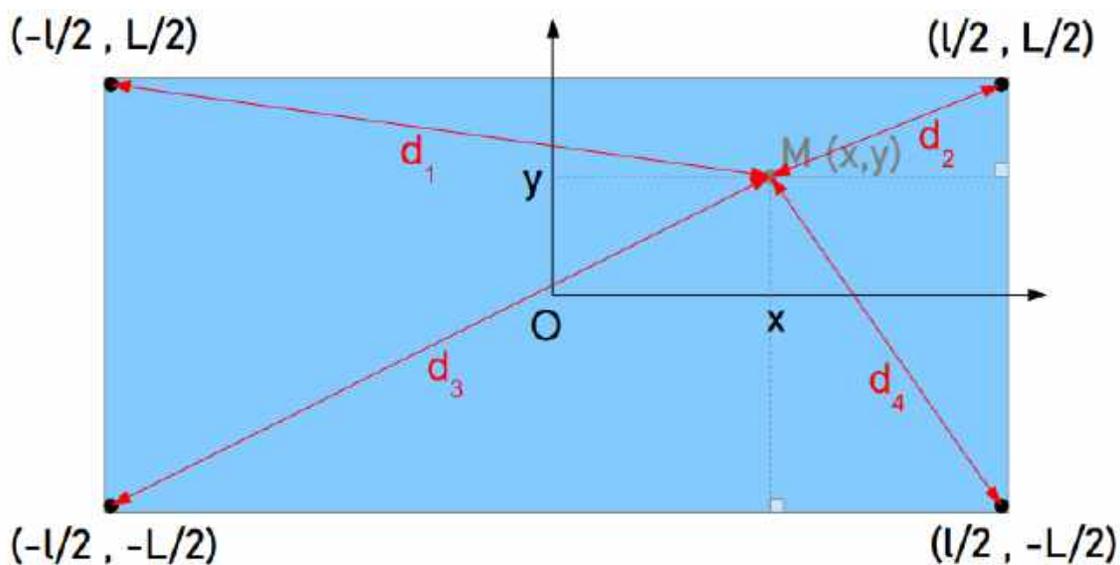
On observe sur ces formes d'ondes de nombreuses imperfections, un bruit de fond conséquent et variable. Toutefois, ce qui ressort de chaque impact de balle est un pic net et clair, très souvent saturé, qui s'apparente à un Dirac. A ce stade, notre idée est donc d'utiliser seulement ces pics très marqués de saturation qui sont très facilement identifiables sur le signal, et d'utiliser une méthode très simple de triangulation, un peu à la manière d'un sonar marin.

Un peu de théorie

On peut schématiser le prototype de planche comme ceci, avec les micros représentés en rouge :



On fait l'approximation que les dimensions de la planche sont très supérieures à la distance d du bord de la planche. De plus, on considère les surfaces piézoélectriques comme ponctuelles. Soit M le point d'impact de la balle de ping-pong, on arrive donc à la représentation suivante, que l'on dote d'un repère cartésien à deux dimensions :



an à l'intuition qu'il va être possible de faire un peu de triangulation dans les triangles rectangles qui apparaissent sur ce schéma... à condition d'avoir accès aux distances d_1 , d_2 , d_3 et d_4 .

Soit t_0 l'instant où la balle rebondit sur la planche. Alors $d_1 = c(t_1 - t_0)$, $d_2 = c(t_2 - t_0)$ et ainsi de suite avec c la vitesse de propagation du son dans le bois, et t_i les instants où le signal parvient à chaque micro.

Il paraît difficile de remonter à une expression simple pour t_0 , cela n'est pas facile à calculer avec nos outils. De plus nous souhaitons minimiser les traitements car l'objectif est de réaliser une installation fonctionnant en temps réel. Nous avons accès seulement à des différences de temps à partir des enregistrements de nos micros. Nous cherchons donc à exprimer les coordonnées du point M en fonction de ces différences.

Après un calcul assez simple, dont les étapes sont juste des applications directes du théorème de Pythagore, on obtient les expressions suivantes :

$$x = \frac{d_1^2 - d_3^2}{2l}$$

$$y = \frac{d_3^2 - d_1^2}{2L}$$

Ce qui donne après factorisation, et en remplaçant les distances par leurs expressions en fonction des temps de réception :

$$x = \frac{c^2(t_1 + t_2)(t_1 - t_2)}{2l}$$

$$y = \frac{c^2(t_3 + t_1)(t_3 - t_1)}{2L}$$

Dans ces expressions, les termes importants sont $(t_1 - t_2)$ et $(t_3 - t_1)$: ils donnent le signe des coordonnées du point d'impact et leur connaissance, même approximative, peut permettre de situer facilement l'impact de la balle dans chacune des 9 zones.

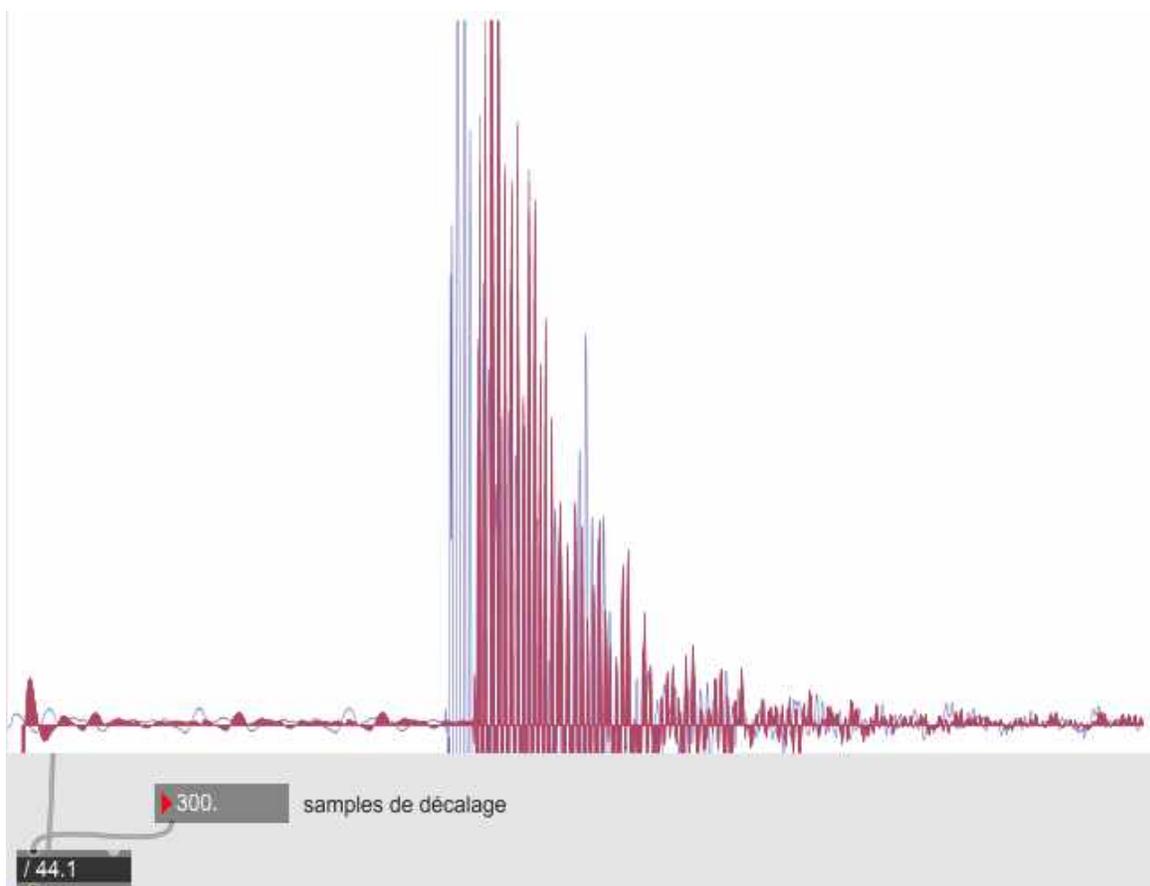
En pratique : implémentation sur Max

Tout d'abord, il faut répondre à la question suivante : avons nous assez de points de quantification pour mesurer de telles différences temporelles ?

La planche en bois mesure environ **1m50** sur **80 cm**, ce qui est un peu plus petit que la moitié d'une table de ping-pong officielle. La vitesse du son dans le bois de pin est de 3320 m/s. Nous utiliserons donc **3000 m/s** pour faire une approximation. Notre distance

caractéristique étant d'environ **0,50 mètres**, les durées mises en jeu sont de l'ordre de **0.17 millisecondes**. Pour notre signal échantillonné à **44100 Hz**, c'est de l'ordre de **75 échantillons** : c'est fin, mais largement faisable !

Pour évaluer les différences de temps sur Max 8, nous avons décidé de tirer parti des performances graphiques du logiciel, en travaillant directement sur la forme d'onde. Utilisons la saturation à notre avantage : en superposant les deux pistes correspondant aux deux micros mis en jeu, et en les décalant jusqu'à faire coïncider le premier pic de saturation, il suffit de récupérer la différence temporelle en échantillon. Le patcher Max le permettant est fourni en [annexe n°3](#). Nous disposons de nombreux fichiers audio de tests sur 4 pistes correspondants à des impacts ciblés sur chacune des zones.



Aperçu de la méthode graphique employée : pour chaque zone, on déplace l'origine de la courbe bleue (premier micro) pour que le premier pic de saturation corresponde à celui de la courbe rouge (deuxième micro) et on relève la valeur du décalage temporel en échantillons

Collecte et interprétation des résultats

Après avoir estimé chacune des différences temporelles nous intéressant, c'est-à-dire pour un impact dans chacune des 4 zones, présentons les résultats obtenus :

I	II	III
IV	V	VI
VII	VIII	IX

$t_1-t_2 \ll 0$	$t_1-t_2 \approx 0$	$t_1-t_2 \gg 0$
$t_1-t_3 \ll 0$	$t_1-t_3 \ll 0$	$t_1-t_3 \ll 0$
$t_1-t_2 \ll 0$	$t_1-t_2 \approx 0$	$t_1-t_2 \gg 0$
$t_1-t_3 \approx 0$	$t_1-t_3 \approx 0$	$t_1-t_3 \approx 0$
$t_1-t_2 \ll 0$	$t_1-t_2 \approx 0$	$t_1-t_2 \gg 0$
$t_1-t_3 \gg 0$	$t_1-t_3 \gg 0$	$t_1-t_3 \gg 0$

-97	11	147
-15	-76	-72
-119	11	131
8	-1	X
-90	-5	32
X	49	65

-97	11	147
-15	-76	-72
-119	11	131
8	-1	X
-90	-5	32
X	49	65

Ces tableaux se lisent ainsi :

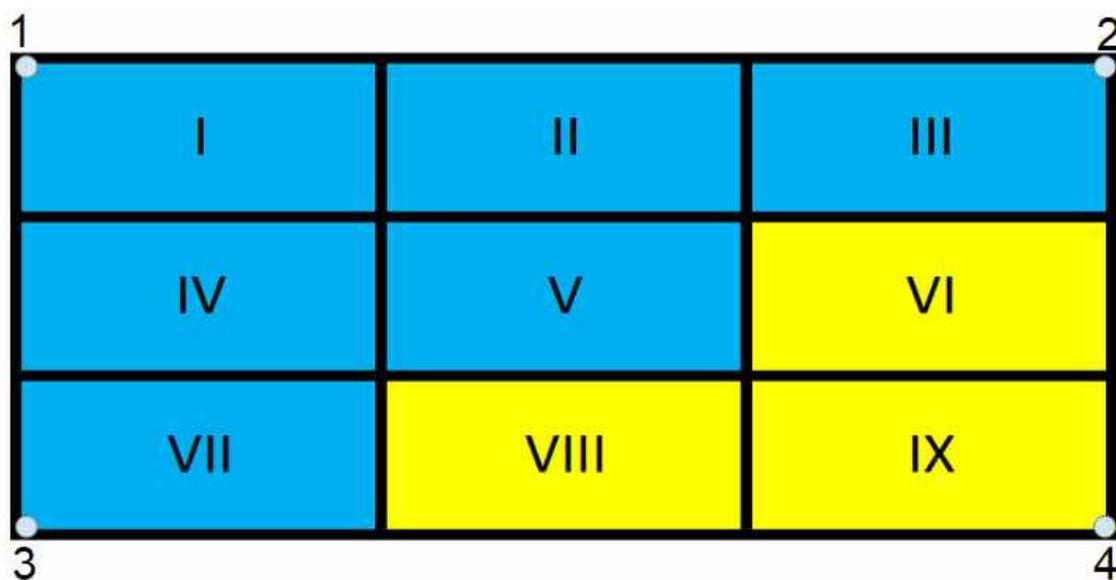
- En haut à gauche, la représentation schématique en 9 zones simplifiées de la planche, qui est utilisée implicitement dans les autres schémas.
- En haut à droite, les résultats attendus pour les différences temporelles sur les 9 zones, en accord avec ce qui a été vu théoriquement.
- En bas à gauche, les résultats obtenus avec le patcher Max. La valeur du haut de chaque case correspond à $(t_1 - t_2)$ et celle du bas à $(t_1 - t_3)$, en échantillons.
- En bas à droite, finalement, ces mêmes résultats analysés avec en vert les valeurs conformes aux attentes de la théorie, en jaune celles dans la marge d'erreur, et en rouge les données manquantes liées à des signaux inexploitable. *Nous considérons que la marge d'erreur est de 20 échantillons. Ainsi, deux pics qui ont moins de 20 échantillons d'écart ne peuvent permettre de conclure que les temps de réception par les différent micros sont suffisamment différents.*

Mis à part la case jaune qui est sûrement une conséquence d'une erreur de lecture, et les quelques données manquantes liées à des erreurs d'échantillonnage et des saturations trop

importantes, les résultats sont probants. Il est possible à l'oeil de distinguer des différences temporelles qui nous permettent de confirmer dans quelle zone a eu lieu l'impact. De plus les différences en échantillons sont de l'ordre de grandeur attendu.

3.3 Bilan et perspectives

Notre conclusion est donc qu'il est tout à fait possible de construire un système en temps réel basé sur les principes de différences de temps de réception suffisamment précis pour l'installation. Les points à améliorer sont le gain des micros pour obtenir un signal lisse. De plus, on note que seuls trois micros sur quatre ont été exploités pour les tests, il est possible d'imaginer la répartition suivante :



Ici le trio de micros 1-2-3 triangule les zones en bleu et le trio 2-3-4 les zones en jaune. Une telle répartition minimiserait le risque d'erreur et mettrait à profit notre déploiement de micros.

Pour localiser les impacts de balle, notre patcher max définitif devra en temps réel mesurer les différences de temps de réception entre les différents micro. La comparaison de ces données avec celles du prototype permettra de situer chaque impact en temps réel.

Avant la soutenance, il faudra donc, dans une salle prévue à cet effet, mettre en place le dispositif temps réel. Nous prévoyons de faire essayer l'installation finale à un échantillon de personnes présentes à l'école au moment où elle sera finalisée. Un questionnaire sera a

remplir à la fin de l'essai. Il sera intéressant d'axer chaque question sur une des dimensions du flow, à la manière de la version courte de la DFS-1 (MARTIN et JACKSON, 2008). Même si l'on ne s'attend pas à ce que tous les joueurs vivent une expérience de flow intense, une première étape est déjà que le feedback soit bien ressenti : cela validerait notre chaîne de capteurs, de traitement et de diffusion, dans l'optique de l'améliorer encore.

Conclusion

Notre étude a permis de définir clairement ce qu'est le flow. L'expérience optimale est tout d'abord quelque chose d'universel, présent sous différents noms, différentes formes. Nous l'avons abordé comme un concept de psychologie, puis tenté de le mesurer comme une quantité physique. Même sans être exhaustives, nos recherches nous ont permis d'entrevoir l'étendue des champs d'application de la connaissance du flow.

Nous avons tenté de mieux le connaître mais également de s'en servir comme source d'inspiration, et comme ligne directrice. Le flow est une porte d'entrée, un certain angle d'attaque sur la psychologie et les sciences cognitives. Nous le retrouvons à la croisée de nombreux domaines : la musique, le sport et le jeu. La volonté de l'installation *Ping* est de se nourrir de ce qui est commun à ces disciplines. Le rendez vous est donc donné au mois d'octobre pour jouer à *Ping* et y retrouver, sinon les 9 dimensions, au moins une certaine forme de flow.

Annexe 1 : Le questionnaire FSS

Flow State Scale

Please answer the following questions in relation to your experience in the event you have just completed. These questions relate to the thoughts and feelings you may have experienced during the event. There are no right or wrong answers. Think about how you felt during the event and answer the questions using the rating scale below. Circle the number that best matches your experience from the options to the right of each question.

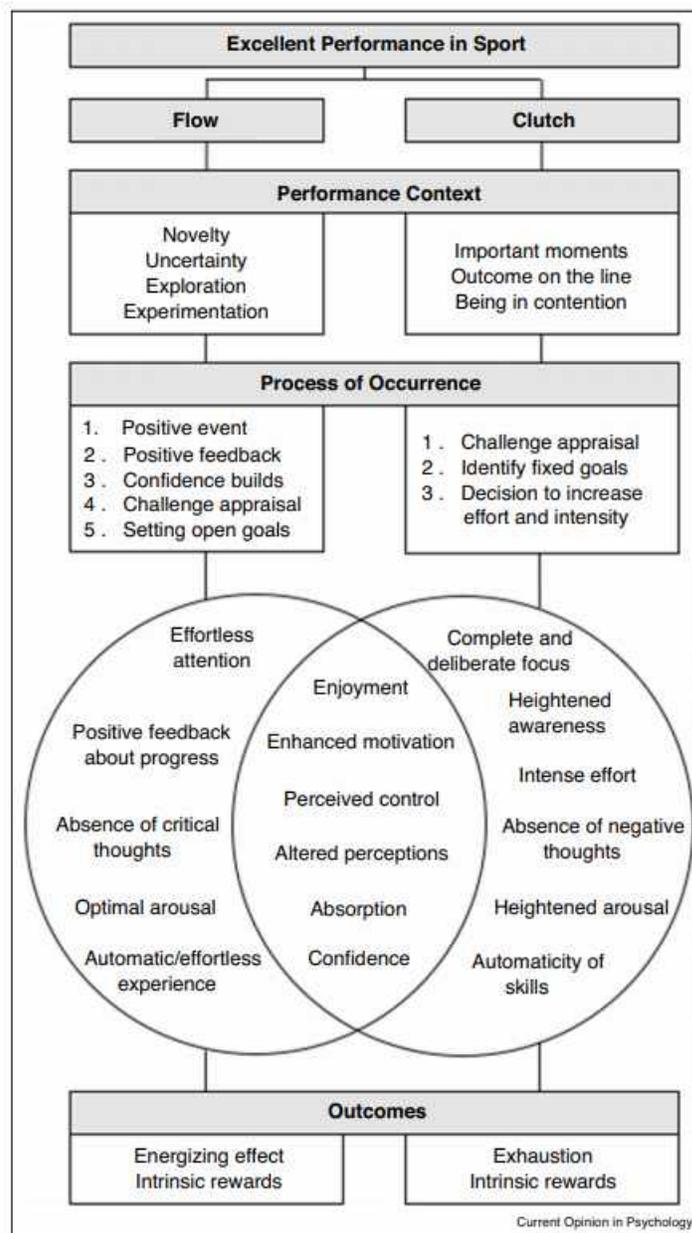
Rating Scale:

Strongly disagree	Disagree	Neither agree nor disagree	Agree	Strongly disagree	Strongly agree
1	2	3	4		5
1. I was challenged, but I believed my skills would allow me to meet the challenge.	1	2	3	4	5
2. I made the correct movements without thinking about trying to do so.	1	2	3	4	5
3. I knew clearly what I wanted to do.	1	2	3	4	5
4. It was really clear to me that I was doing well.	1	2	3	4	5
5. My attention was focused entirely on what I was doing.	1	2	3	4	5
6. I felt in total control of what I was doing.	1	2	3	4	5
7. I was not concerned with what others may have been thinking of me.	1	2	3	4	5
8. Time seemed to alter (either slowed down or speeded up).	1	2	3	4	5
9. I really enjoyed the experience.	1	2	3	4	5
10. My abilities matched the high challenge of the situation.	1	2	3	4	5
11. Things just seemed to be happening automatically.	1	2	3	4	5
12. I had a strong sense of what I wanted to do.	1	2	3	4	5
13. I was aware of how well I was performing.	1	2	3	4	5
14. It was no effort to keep my mind on what was happening.	1	2	3	4	5
15. I felt like I could control what I was doing.	1	2	3	4	5
16. I was not worried about my performance during the event.	1	2	3	4	5

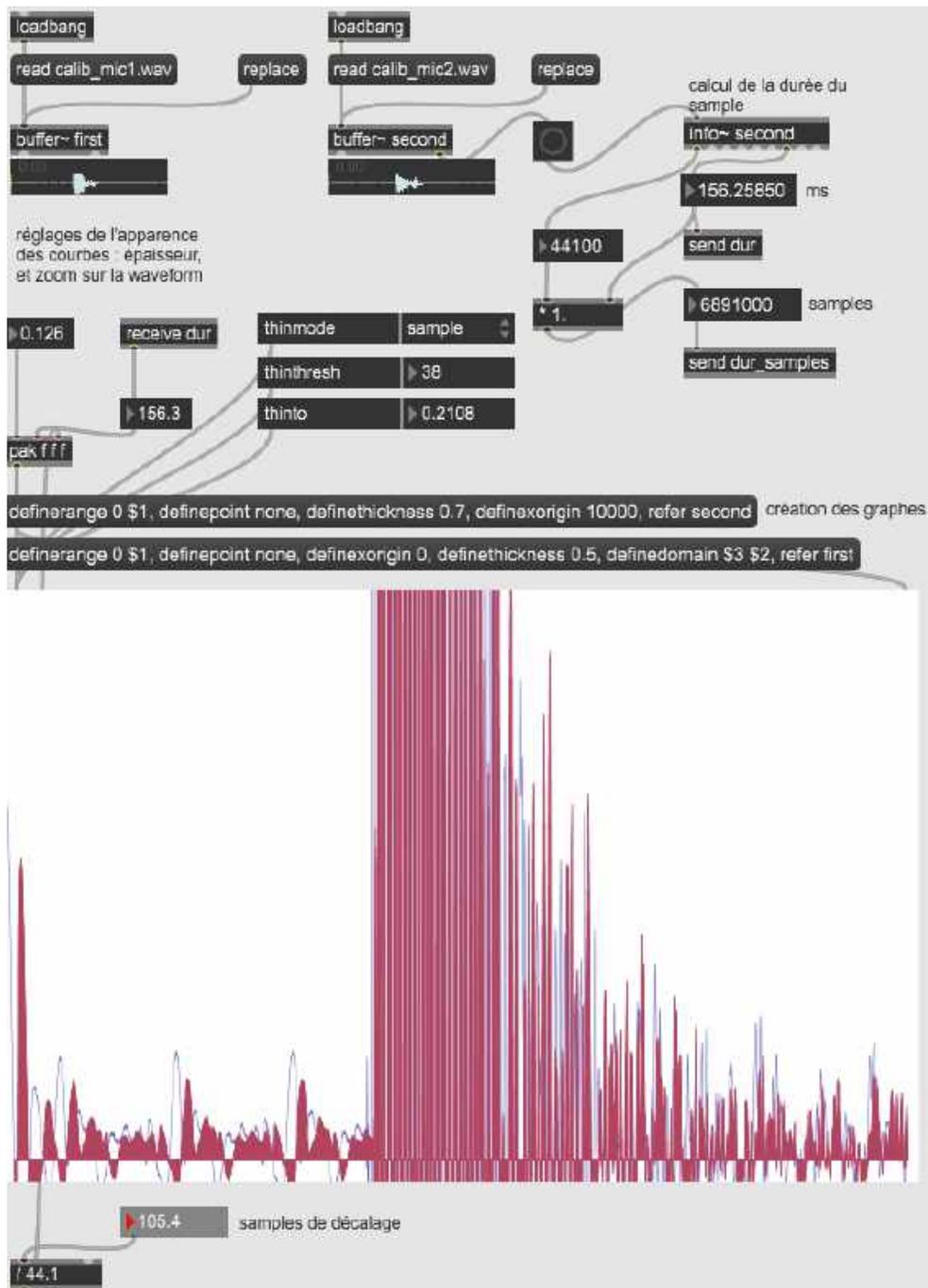
17. The way time passed seemed to be different from normal.	1	2	3	4	5
18. I loved the feeling of that performance and want to capture it again.	1	2	3	4	5
19. I felt I was competent enough to meet the high demands of the situation.	1	2	3	4	5
20. I performed automatically.	1	2	3	4	5
21. I knew what I wanted to achieve.	1	2	3	4	5
22. I had a good idea while I was performing about how well I was doing.	1	2	3	4	5
23. I had total concentration.	1	2	3	4	5
24. I had a feeling of total control.	1	2	3	4	5
25. I was not concerned with how I was presenting myself.	1	2	3	4	5
26. It felt like time stopped while I was performing.	1	2	3	4	5
27. The experience left me feeling great.	1	2	3	4	5
28. The challenge and my skills were at an equally high level.	1	2	3	4	5
29. I did things spontaneously and automatically without having to think.	1	2	3	4	5
30. My goals were clearly defined.	1	2	3	4	5
31. I could tell by the way I was performing how well I was doing.	1	2	3	4	5
32. I was completely focused on the task at hand.	1	2	3	4	5
33. I felt in total control of my body.	1	2	3	4	5
34. I was not worried about what others may have been thinking of me.	1	2	3	4	5
35. At times, it almost seemed like things were happening in slow motion.	1	2	3	4	5
36. I found the experience extremely rewarding.	1	2	3	4	5

© S.A. Jackson, University of Queensland, 1995

Annexe 2 : Flow et clutch : un modèle inclusif



Annexe 3 : Patcher Max sonar.maxpat



Bibliographie

- ALWIN, D. F. et J. A. KROSNICK (1991). « The Reliability of Survey Attitude Measurement : The Influence of Question and Respondent Attributes ». In : *Sociological Methods Research*, p. 139-181.
- BINDRA, D. et H. WAKSBERG (1956). « Methods and terminology in studies of time estimation ». In : *Psychological Bulletin*, p. 155-159.
- BLAAUW, F.J. (2016). « Let's get Physiqua - an intuitive and generic method to combine sensor technology with ecological momentary assessments ». In : *Journal of Biomedical Informatics*.
- CAMPBELL, MacGregor (2011). « The audacious plan to make the world into a game ». In : *NewScientist n°209*, p. 36-39.
- CHARTIER, P (2018). *L'évaluation en psychologie*. In Press.
- CRONBACH, L. J. (1951). « Coefficient Alpha and the internal structure of tests ». In : *Psychometrika*, p. 297-334.
- CSIKSZENTMIHALYI, M. (1975). *Beyond Boredom and Anxiety : Experiencing Flow in Work and Play*. Jossey-Bass.
- (1990). *Flow : the psychology of optimal experience*. Harper.
- CSIKSZENTMIHALYI, M. et I. S. CSIKSZENTMIHALYI (1992). *Optimal Experience : Psychological studies of flow in consciousness*. Cambridge University Press.
- CSIKSZENTMIHALYI, M. et R. LARSON (1983). « The Experience-Sampling Method ». In : *New Directions for Methodology of Social and Behavioral Science*, p. 41-56.
- (1987). « Validity and Reliability of the Experience-Sampling Method ». In : *The Journal of Nervous and Mental Disease*.
- FRANKL, R (1946). *Man's search for meaning*.
- FRITZ, B. S. et A. AVSEC (2007). « The experience of flow and subjective well-being of music students. » In : *Horizons of psychology*, p. 5-17.
- HAMARI, J. et J. KOIVISTO (2014). « Measuring flow in gamification : Dispositional Flow scale-2 ». In : *Computers in human behaviour*, p. 134-143.

- HANCOCK, P.E., A.D. KAPLAN et J. CRUIT (2019). « A meta-analysis of flow effects and the perception of time ». In : *Acta Psychologica*, p. 1-17.
- HORNSTEIN, A. D. et G. S. ROTTER (1969). « Research methodology in temporal perception ». In : *Journal of experimental psychology*, p. 561-564.
- JACKSON, S. et H. MARSH (1996). « Development and Validation of a Scale to Measure Optimal Experience : The Flow State Scale ». In : *Journal of sport & exercise psychology*, p. 17-35.
- (2002). « Assessing flow in physical activity : The Flow State Scale-2 and Dispositional Scale 2 ». In : *Journal of sport & exercise psychology*, p. 133-150.
- JOHN WANG, C., W. LIU et A. KHOO (2009). « The Psychometric Properties of Dispositional Flow Scale-2 in Internet Gaming ». In : *Current Psychology*, p. 194-201.
- MARTIN, A. J. et S. A. JACKSON (2008). « Brief approaches to assessing task absorption and enhanced subjective experience : Examining short and core flow in diverse performance domains ». In : *Motivation and Emotion*, p. 141-157.
- PIERCE, Kyle (2019). *The Tao of flow : Taoism, Yoga and Zen Buddhism*. URL : <https://www.diygenius.com/eastern-flow-philosophy/>.
- ROSCH, E (1973). « Natural Categories ». In : *Cognitive Psychology*, p. 328-350.
- SAMPAS, P et P BODO (2008). *A Champion's Mind : Lessons from a Life in Tennis*. Three Rivers Press.
- SINNAMON, S., A. MORAN et M. O'CONNELL (2012). « Flow among musicians : Measuring peak experiences of student performers ». In : *Journal of research in music education*, p. 6-24.
- SWANN, C., L. CRUST et A.S. VELLA (2017). « New directions in the psychology of optimal performance in sport : flow and clutch states ». In : *Current Opinion in Psychology*, p. 48-53.
- SWANN, C. et al. (2016a). « Psychological states underlying excellent performances in professional golfers : 'Letting it happen' vs. 'Making it happen' ». In : *Psychology of Sport and Exercise*, p. 101-113.
- SWANN, C. et al. (2016b). « Psychological states underlying excellent performances in professional sports : towards an integrated model of flow and clutch states ». In : *Psychology of Sport and Exercise*, p. 101-113.
- TOLSTOÏ, L. (1877). *Anna Karénine*, p. 632-633.
- YOUNG, J.A. et M.D. PAIN (1999). « The Zone : Evidence of a Universal Phenomenon for Athletes Across Sports ». In : *Athletic Insight*, p. 21-30.