



HAL
open science

Geste improvisé et interfaces naturelles : vers de nouveaux fondamentaux pour le design d'expériences optimales en médiations immersives

Loup Vuarnesson

► To cite this version:

Loup Vuarnesson. Geste improvisé et interfaces naturelles : vers de nouveaux fondamentaux pour le design d'expériences optimales en médiations immersives. Art et histoire de l'art. Université Paris sciences et lettres, 2023. Français. NNT : 2023UPSLE006 . tel-04534570

HAL Id: tel-04534570

<https://theses.hal.science/tel-04534570>

Submitted on 5 Apr 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



THÈSE DE DOCTORAT

DE L'UNIVERSITÉ PSL

Préparée à L'École Nationale Supérieure des Arts Décoratifs

Geste improvisé et interfaces naturelles :
Vers de nouveaux fondamentaux pour le design
d'expériences optimales en médiations immersives

Soutenue par

Loup VUARNESSON

Le 09 Mars 2023

Ecole doctorale n° 540

**Lettres, Arts, Sciences
humaines et sociales**

Laboratoire

SACRe (EA n° 7410)

EnsadLab

Spécialité

SACRe, Design

Composition du jury :

Alexis, PALJIC Directeur de recherche, Mines ParisTech	<i>Président</i>
Indira, THOUVENIN Directrice de recherche, UTC	<i>Rapporteur</i>
Catherine, PELACHAUD Directrice de recherche, CNRS, UTC	<i>Rapporteur</i>
Sarah, FDILI ALAOUI Chargée de recherche, CNRS, INRIA	<i>Examineur</i>
Olivier, GUILLET Encadrant industriel, EMOTIC	<i>Invité</i>
Emmanuel, MAHE Directeur de recherche, ENSAD	<i>Directeur de thèse</i>
François, GARNIER Chargé de recherche, ENSAD	<i>Examineur, co-encadrant</i>



Geste improvisé et interfaces naturelles

**Vers de nouveaux fondamentaux
pour le design d'expériences optimales
en médiations immersives**

Loup Vuarnesson



DISSERTATION DOCTORALE CIFRE

PSL Research University, Paris Sciences et Lettres.

Ecole doctorale 540 | Literature, Arts, Social and human sciences.

Discipline : Design, Information and Communication Sciences (CNU 71, 18).

PREPARÉ À

EnsadLab

Le laboratoire de recherche de l'ENSAD,

L'École Nationale Supérieure des Arts Décoratifs

31 Rue D'Ulm, 75003, Paris, France.

&

EMOTIC

12 Rue du Cher, 44000 Nantes

ENCADREMENT

MAHÉ Emmanuel

Ph.D., Directeur de recherche à l'Ensadlab | Directeur de thèse

GARNIER François

Ph.D, Directeur du groupe de recherche Spatial Media

de l'Ensadlab | Co-Directeur de thèse

GUILLET Olivier

Chief Technical Officer à EMOTIC | Encadrant scientifique

CANDIDAT

VUARNESSON Loup

MOTS-CLÉS

- Recherche-création • Design d'interaction • Réalité virtuelle
- Langage non-verbal • Intelligence artificielle • Improvisation dansée.

DESIGN GRAPHIQUE

Maindor.com

11 Rue Michel, 91410 Dourdan



Geste improvisé et interfaces naturelles

**Vers de nouveaux fondamentaux
pour le design d'expériences optimales
en médiations immersives**

Loup Vuarnesson



Remerciements

Un tout premier merci à Sophie Sagot-Duvauroux pour avoir été à l'origine de ce que j'identifie comme le premier basculement de ma vie de chercheur et de designer. C'est lors de mon stage de fin de Master à l'IRT Jules Verne que Sophie m'a apporté sa confiance et m'a laissé évoluer avec une grande liberté dans un monde en ébullition, celui des interfaces gestuelles, des technologies immersives, et de la réalité virtuelle. J'ai compris en l'accompagnant que mon métier serait dorénavant motivé par la curiosité et l'enthousiasme, et poursuivrait un idéal équilibre entre des temps créatifs et un apprentissage permanent.

Merci à Lauriane Pouliquen-Lardy, Franck Mars et Isabelle Milleville de l'IRCCYN que j'ai pu rencontrer au cours de ce précédent stage, et avec qui j'ai ensuite fait mes premières armes dans le monde de la recherche en sciences cognitives. J'ai pu avec eux développer mon savoir-faire de designer d'expériences immersives et avoir un premier avant-goût du dialogue interdisciplinaire qui anime l'ensemble de cette thèse.

Merci aux formidables Frantz et Laurent de PictoFilmo et à Matus de Matsuko qui m'ont ensuite apporté une compréhension des enjeux visuels et esthétiques dans le développement d'expériences interactives. J'ai pu observer chez eux l'artisanat de l'image de synthèse, et m'émerveiller de l'infini soin dont ils savent faire preuve dans leur travail. Ils emploient ce talent tout en étant au même moment des êtres infiniment sympathiques et pour cette expérience à leurs côtés je leur en suis profondément reconnaissant.

Merci à Anne Dubos, Coline Joufflineau et Jean-François Jégo qui, lors des Journées du Geste de Nantes, m'ont partagé leurs questions et approches de cette fascinante relation entre gestes et sensibilité, reliant par leurs travaux la danse, le langage non-verbal, la technologie et la recherche en interactions. Cet événement a été un second basculement, à l'issue duquel ma certitude à vouloir intégrer cet univers n'a plus été remise en question.

Merci alors à François Garnier et au groupe Spatial Media d'à l'époque et d'aujourd'hui, Maxime, Dionysis, Hortense, Donatien, Pierre, Fabienne, Léa, Rémi et Rémi, Guofan, Sophia, pour avoir accompagné mon projet, de son stade embryonnaire jusqu'à son terme. Merci pour les innombrables discussions, errances créatives, partages, travaux communs et expériences partagées. Cette équipe regroupe un lot de savoir-faire fascinants et des sensibilités touchantes. J'ai acquis avec vous cette certitude que la recherche en art est un pont permettant de faire dialoguer toutes les disciplines, et de fédérer tous les langages.

Merci à Emmanuel Mahé pour ces formidables projets que sont EnsadLab et SACRe, pour son écoute attentive et son érudition sans limites qui m'ont aidé à mieux définir ma place au sein d'un formidable écosystème mêlant chercheurs, industriels et artistes. Merci également à Édith Buser qui m'a aidé à dessiner le cadre de cette collaboration CIFRE et qui se dévoue avec passion pour permettre à d'autres que moi de vivre cette aventure.

Merci à Michaël, Olivier et toute la grande famille EMOTIC pour leur confiance, sans laquelle ces lignes n'auraient jamais été écrites. Ils m'ont offert les meilleures conditions pour conduire cette thèse, me formant et ancrant mes questions dans un terrain dynamique et passionné, mêlant créativité, audace, curiosité et pragmatisme avec brio. J'ai appris grâce à eux à manier une grande diversité de langages et à mieux comprendre ceux de mes différents interlocuteurs. Cette souplesse acquise m'est aujourd'hui extrêmement bénéfique.

Merci immense à Asaf Bachrach pour son enthousiasme débordant et ses mises en mouvement contagieuses. Asaf est autant un puits qu'un pont entre les savoirs, sachant comme personne faire se rencontrer des sensibilités diverses et des langages étrangers, et finalement les amener à bouger ensemble.

Par nos échanges j'ai pu développer des liens forts entre science et performance, et comprendre ce qui était sous-tendu par cette rencontre : accepter de prendre appui parfois sur des incertitudes, laisser le déséquilibre nous faire avancer, et s'offrir les conditions pour qu'une certaine beauté des choses apparaisse d'elle-même.

Merci alors à toute l'équipe du projet Articulations, Asaf, François, Julien, Dionysis, Clint, Rémi, Alexandra, Alexandre, Joe, Jennifer, avec qui j'ai pu passer de la place d'observateur et d'ingénieur discret à celui de praticien, apprenti danseur, marionnettiste. Ce projet a été majeur pour moi car j'ai pu m'y affirmer avec vous comme le premier sujet de mes expérimentations.

Merci à Rémi Ronfard et Maxime Garcia qui m'ont apporté de précieux conseils lors de ma plongée dans les eaux troubles de l'apprentissage automatisé, qui ont su m'inspirer et me conduire vers la réalisation d'un projet plus que personnel. Certaines lignes de mes conclusions sont les conséquences directes de leur apport et figurent je pense parmi les plus originales de ce manuscrit.

Merci à Alexis Paljic et à Jean-François Jégo de mon comité de suivi de thèse qui ont su plusieurs fois me réaiguiller, touchant du doigt avec précision d'une part l'origine de mes doutes et d'autre part l'essence même de ce que je poursuivais au sein de ce travail. Je suis sorti à chaque fois revitalisé de nos échanges et je leur suis très reconnaissant de l'attention qu'ils ont pu y apporter.

Merci à Laura, Lisa, Hélène, Elsa pour leurs écoutes attentives lors de mes innombrables tergiversations d'apprenti chercheur, ainsi que pour leurs retours pertinents lors de nos discussions. Vos présences ont été des phares pour moi, me permettant plus d'une fois d'organiser, filtrer, et synthétiser ces pensées, leur donnant finalement plus de consistance.

Merci de la même manière à toutes celles et tous ceux qui ont bien voulu m'écouter parler de mon travail, parfois sans en comprendre grand-chose. Vos regards tantôt médusés, tantôt enthousiastes m'ont également servi de boussole, voyant avec évidence lorsque mon langage était suffisamment clair et donc ma pensée suffisamment mûre.

Merci à Édith Vuarnesson qui a bien voulu relire l'entièreté de ce manuscrit et faire l'effort d'en comprendre le sens, sans jamais avoir chaussé ni vu de casque de réalité virtuelle. Je n'imagine pas à quel point certains passages ont dû sembler opaques et malgré tout elle m'a fait part de ses retours les plus précieux.

Merci aux graphistes de Maindor qui m'accompagnent dans ces dernières heures de rédaction et de mise en page, et qui achèvent de faire passer ce manuscrit de son statut de brouillon à celui d'objet académique.

Merci à Alexandra Elbakyan, celle qui contribue à rendre le savoir universel et dont on ne doit malgré tout pas prononcer le nom. Sans elle, la grande majorité de ma bibliographie m'aurait été inaccessible, espérons que son travail soit un jour reconnu d'utilité publique.

Merci à toute ma famille pour sa patience, ses encouragements, et ses tentatives de donner du sens à mon entreprise. Je les ai vus aborder maintes fois l'exercice périlleux d'expliquer mon travail, alors même que chez moi se déclarait un énième épisode de doute. Merci à eux de s'y être essayé et d'avoir voulu comprendre.

Beaucoup de mercis peut-être, mais c'est la preuve certaine que cette thèse ne s'est pas faite seule. C'est au contraire le résultat ici d'une multitude de rencontres avec des personnalités singulières, sensibles et formidables. Ma voix de chercheur en design se fait donc le reflet d'un monde, avant tout celui de toutes les personnes citées ici.

Sommaire

Introduction

1 • L'improvisation comme modèle interactif pour le design d'interfaces naturelles spatialisées

Introduction • Transdisciplinarité de la recherche en interaction	16
1.1 • Mécanismes d'engagement dans une interaction	17
1.1.1 L'énonciation pour la construction du sens	17
1.1.2 La motivation intrinsèque pour l'engagement dans l'interaction	18
1.2 • Le design d'interaction, une recherche transdisciplinaire	20
1.2.1 GUIs et IHM, une recherche en interaction humain/machine	20
1.2.2 La complémentarité entre IHM et art numérique	22
1.2.3 Une recherche en design d'interactions à la croisée de multiples disciplines	25
1.3 • Les nouveaux enjeux des NUIs	29
1.3.1 De nouveaux enjeux à définir	29
1.3.2 Faire corps au sein des environnements virtuels	30
1.3.3 Des altérités numériques invitant au mouvement	32
1.3.4 Des données spatialisées accessibles du bout des doigts	38
1.4 • Des interfaces souples et adaptatives	40
1.4.1 Quelles données pour baser l'adaptation	40
1.4.2 Que peut-on adapter	42
1.5 • L'improvisation comme modèle d'interaction avec un partenaire numérique	46
1.5.1 Co-construction de sens et jeu de l'improvisation	46
1.5.2 Redéfinition de la problématique	50
1.5.3 Propositions expérimentales	51
1.5.4 Un écosystème propice à une recherche par la pratique en design	52

2 • Expérimentations - Vers une traduction du geste dans les expériences numériques

2.1 • Regrouper différents cadres de recherche	56
2.1.1 Les différents langages de l'interaction	56
2.1.2 Construire du sens en improvisation	56
2.1.3 Un atelier de design ancré pour penser l'adaptativité humain/machine	60
2.1.4 Une base de grammaire commune	66
2.2 • Des outils pour penser le langage adaptatif	67
2.2.1 Une première méthode de conception en contexte industriel	67
2.2.2 Première application de la méthode à l'IRIS Lab de Systeme U	72

2.2.3	Retours et analyse de l'atelier	75
2.2.4	Deuxième application de la méthode chez EMOTIC	76
2.2.5	Retours et analyse du second atelier	78
2.2.6	Un second outil ludique	79
2.2.7	Conclusion sur les outils développés	82
2.3	• Articulations / Vers une « réalité diminuée »	83
2.3.1	Introduction	83
2.3.2	Genèse d'un projet transdisciplinaire	84
2.3.3	Une rencontre entre minimalisme et réalité virtuelle	85
2.3.4	Co-conception d'un outil d'étude	90
2.3.5	La réalité diminuée partagée (SDR)	94
2.3.6	Notre plateforme expérimentale	95
2.3.7	Une preuve de concept à la Tate Modern	100
2.3.8	Analyse de l'expérience vécue	102
2.3.9	Expérimentation au centre CNRS Pouchet	107
2.3.10	Retours d'expériences collectés	110
2.3.11	Analyse de l'expérience globale	119
2.3.12	Analyse comparée	122
2.3.13	Une performance hybride et semi-improvisée en Réalité Diminuée	129
2.3.14	Discussion sur le projet Articulations	133
2.3.15	Prochaines étapes du projet	136
2.4	• Conclusions pour le design d'expériences naturelles	137
2.4.1	Résumé du chapitre	137
2.4.2	Un langage interactif extra-naturel entre l'humain et la machine	138
2.4.3	Portée des choix de design et horizons de travail	140

3 • Des descripteurs de geste sensible pour le développement de langages naturels en médiation spatiale

3.1	• Introduction	144
3.1.1	L'adoption d'un point de vue ancré et situé	144
3.1.2	Un langage naturel adressant deux registres attentionnels	145
3.1.3	Stratégie expérimentale	146
3.2	• Extraire du sens de la SDR	147
3.2.1	Un outil d'analyse sur-mesure	148
3.2.2	Qualifier l'interaction en SDR	149
3.2.3	Annotations comparées d'une même performance	151
3.3	• Des métriques gestuelles adaptées à notre contexte	155
3.3.1	L'analyse du mouvement de Laban (LMA) - Une qualification plus objective du geste	155
3.3.2	Reconnaissance émotionnelle et LMA	157
3.3.3	Identifier le caractère intrinsèque de nos données de mouvement	159
3.3.4	Un besoin de métriques personnelles pour qualifier le mouvement	160

3.4 • Préparer nos jeux de données pour l'apprentissage	161
3.4.1 Trois hypothèses de travail pour un apprentissage automatisé	161
3.4.2 Stratégie de travail pour chaque hypothèse considérée	162
3.4.3 Filtrage préalable des données	162
3.4.4 Annotation des fichiers d'entraînement	164
3.5 • Développement des descripteurs du geste	167
3.5.1 Inspiration de travaux existants	167
3.5.2 Descripteurs individuels de performance	168
3.5.3 Descripteurs relationnels de performance	170
3.5.4 Les outils de conversion des données de mouvement en descripteurs	173
3.5.5 Préparation des fichiers pour les prochaines phases d'apprentissage	175
3.6 • Apprentissage automatisé	175
3.6.1 Développement d'outils pour un entraînement sur-mesure	175
3.6.2 Mode d'opération	177
3.6.3 Problème 1 - Mesurer l'expressivité	178
3.6.4 Problème 2 - Reconnaître la coprésence	180
3.6.5 Problème 3 - Mesurer la cohésion entre les participants	183
3.6.6 Vers une intégration des modèles à des programmes temps-réel	188
3.6.7 Pré-câblage entre Unity et le modèle algorithmique	189
3.7 • Preuve de concept pour l'interaction implicite - Relation ambiante au mouvement	191
3.7.1 Idéation pour des connexions sensibles à l'environnement virtuel	192
3.7.2 Forger des intuitions sur la relation au mouvement en immersion	193
3.7.3 Affective Landscapes - Des rapports affectifs à l'environnement	195
3.7.4 Retours d'expérience et analyse personnelle	199
3.8 • Preuve de concept pour l'interaction explicite - Un danseur médian	200
3.8.1 Un nouveau paradigme d'interaction relationnelle	200
3.8.2 Une influence rééquilibrée... voire asymétrique	203
3.8.3 Vers le développement d'un nouveau protocole expérimental	204
3.8.4 Premiers retours d'expériences	208
3.8.5 Le danseur médian, une interaction explicite inspirante pour le design d'expériences	210
3.8.6 Instanciation d'un médian adaptatif	212
3.8.7 Construction d'un partenaire virtuel évolutif et retours d'expérience	213
3.9 • Résumé du chapitre	215

4 • Conclusions

4.1 • Résumé du parcours	220
4.1.1 Des contextes multiples	220
4.1.2 Un besoin de langage commun	220
4.1.3 Co-construire nos outils de recherche	221
4.1.4 L'emploi de ces outils pour la concrétisation de deux formes d'interfaces naturelles sensibles	222

4.2 • Contributions à destination des designers d'expérience	223
4.2.1 Méthode de conception / jeu de cartes	223
4.2.2 L'ajout de métriques sensibles dans le design d'expérience	223
4.2.3 Vers l'intégration programmatique du designer improvisant dans l'expérience	224
4.2.4 Clés de design pour la mise en mouvement	225
4.2.5 Prochaines étapes	228
4.3 • Discussions	229
4.3.1 Impacts technologiques et cadre éthique	229
4.3.2 Applicabilité	231
4.3.3 Une recherche plus que personnelle	233

Annexes

Glossaire	238
Annexe I • Interviews des spécialistes de l'improvisation	239
Annexe I.1 Sur leur rapport à la danse	239
Annexe I.2 Sur la genèse de l'improvisation	240
Annexe I.3 L'évolution de l'expérience	241
Annexe I.4 Sensations	244
Annexe II • Notes au questionnaire post-expérience Pouchet	245
Annexe II.1 Ensemble des notes	245
Annexe II.2 Groupe n'ayant pas identifié la coprésence versus celui qui l'a compris avant ou au début	247
Annexe III • Analyse comparative de la cohésion du mouvement	250
Annexe IV • Idéation Affective Landscapes	251
Annexe IV.1 Paramètres influents	251
Annexe IV.2 Réponses adaptatives thématiques	252
Bibliographie	255

Des interfaces naturelles qui invitent au mouvement

Tout au long des années 1970 s'est développée une tendance à la naturalisation des systèmes numériques. Largement popularisées par Xerox Parc, les métaphores des fichiers, dossiers, et autres corbeilles ont permis de représenter et classer les données sous une forme plus intuitive, s'inspirant des objets courants et de leurs usages. Les langages machine compréhensibles seulement des ingénieurs se transformèrent alors en des entités plus imagées, douées de caractères et de comportements, permettant en même temps d'envisager une informatique accessible à des publics non experts.

Cette tendance a permis de donner un sens à des fonctions complexes, en réintégrant le langage machine dans un domaine intelligible pour le plus grand nombre.

Poursuivant cette logique, de nouvelles dimensions sensibles s'ajoutent aujourd'hui aux interfaces et aux expériences utilisateur. Concédant le fait que l'esprit humain agit, communique et bouge en trois dimensions, de manière contextualisée et parfois du seul fait de son intuition, nous avons pu voir depuis plusieurs années se développer une informatique spatialisée, comprenant et intégrant son environnement.

Steve Mann conceptualise ainsi dans les années 1990 l'idée d'Interfaces Utilisateurs Naturelles (NUI), mettant en exergue l'inspiration directe de nos interactions avec le monde pour le développement de nouvelles formes d'interfaces numériques et de design d'expérience.

Que ce soit par le développement des écrans tactiles ou la capture gestuelle et vocale, de nouvelles modalités d'acquisition apparaissent, comme le langage non-verbal, les expressions faciales, le ton et le rythme de la voix. Les utilisateurs sont invités à utiliser des formes plus ambiguës et intuitives pour se faire comprendre par la machine. Les systèmes, eux, commencent à répondre de manière ambiante, sollicitant les différents sens et jouant sur de multiples gammes émotionnelles.

Bouger avec des interfaces de capture de mouvements, parler avec des assistants vocaux, effleurer et balayer avec les doigts l'information des écrans tactiles, ces actions deviennent les nouvelles briques destinées à la construction d'expériences libérant le corps et diminuant la charge cognitive. Le corps et la cognition s'étendent car le numérique se comporte d'une manière analogue au raisonnement humain, tout en apportant de nouveaux mondes de sens (Wigdor and Wixon, 2011).

L'idée même d'expérience est redéfinie. A la différence des expériences graphiques (GUI) qui se concentrent et privilégient l'accomplissement et la complétion de tâches, les NUIs mettent le plaisir de l'interaction comme clé de voûte des expériences (Hinman, 2011).

Du côté de l'utilisateur, le parcours devient exploratoire et improvisé. L'expressivité et l'impulsivité trouvent une place importante. Il devient alors primordial de penser les interfaces comme « plastiques » (Thévenin, 1999), n'étant plus uniquement conçues pour des panels larges d'utilisateurs mais pour nouer un contrat social avec des individus singuliers.

Pour autant, et si de nombreux travaux proposent des outils de conception et de réflexion pour penser ce design d'expériences souples, il nous manque aujourd'hui des directives claires pour penser une personnalisation du langage interactif et concevoir cette inter-adaptation entre l'utilisateur et le système numérique.

Nous le verrons plus loin, l'idée de concevoir des interfaces « partenaires », aidant à la créativité et s'adaptant dynamiquement n'est pas nouvelle. Pourtant la récente popularisation des interfaces spatialisées à réalités mixtes, alliée au perfectionnement des systèmes de reconnaissance et d'apprentissage machine change la donne. Les systèmes peuvent aujourd'hui opérer des lectures fines sur des jeux de données complexes et sensibles, pour y répondre à travers des langages plus subtils et ambiants. Il nous est donc nécessaire d'éprouver ces nouvelles formes d'expériences numériques, et de penser à travers elles les nouveaux langages interactifs qu'elles rendent possibles.

Comment nouer ce nouveau type de relations sociales avec le numérique, alors même que la donnée se disperse dans l'espace ? Comment penser cette co-évolution entre un utilisateur et le système qu'il manipule, et à travers quels canaux interactifs cette adaptation doit-elle se dérouler ?

Nous formulons l'hypothèse qu'aborder ce travail en prenant comme modèle les mécaniques sociales et co-créatives survenant dans une activité d'improvisation partagée peut apporter de nombreuses clés pour penser le développement de langages interactifs génératifs et personnalisés.

Nous supposons que nos propres dynamiques de coordination pourront s'avérer être un support d'inspiration pertinent pour développer l'engagement créatif et le plaisir d'utilisation au sein de ces expériences naturelles.

Dans un premier chapitre, nous débiterons donc notre état de l'art en proposant un parallèle entre l'étude de ces mécanismes sociaux créatifs, vus à travers le prisme de la psychologie cognitive, et une série d'expériences numériques explorant ces différentes dimensions d'hybridité et de plasticité. Nous en extrairons notre approche expérimentale en la basant sur trois idées centrales : la multimodalité interactive comme essence du langage naturel en immersion, la friction, au sens d'un contrôle fluctuant et décisif à l'engagement, et l'altérité comme condition pour voir apparaître des mécanismes d'adaptation et d'imitation.

Des interfaces naturelles qui invitent au mouvement

À travers une démarche de recherche par la pratique en design, nous détaillerons dans un second chapitre le développement d'outils d'étude sur-mesure, co-crésés au sein des vastes écosystèmes CIFRE et SACRE qui ont accueilli cette thèse. Ces outils permettront d'une part de déconstruire la question de l'adaptativité des interfaces, et de l'autre de provoquer et observer l'apparition de ces mécanismes sociaux de coordination directement en immersion. De ces outils s'ensuivront une série d'expériences, à la frontière entre arts, sciences humaines et design industriel, à partir desquelles nous formulerons quelques recommandations pour faciliter l'inter-adaptation humain/machine et améliorer l'engagement créatif dans ces interfaces spatialisées.

Dans un troisième et dernier chapitre, nous reviendrons sur les différentes étapes d'une démarche plus personnelle consistant en un développement d'expériences adaptatives et automatisées, inspirées des recommandations formulées en fin de second chapitre.

Nous formulerons alors une série de conclusions, sur la base de ces différentes contributions théoriques et expérientielles, à destination des chercheurs et designers d'installations immersives pour inviter leurs utilisateurs à la mise en mouvement.

Geste improvisé et interfaces naturelles

**Vers de nouveaux fondamentaux
pour le design d'expériences optimales
en médiations immersives**

1.

**L'improvisation
comme modèle interactif
pour le design d'interfaces
naturelles spatialisées**

Introduction du chapitre - Transdisciplinarité de la recherche en interaction

Nous allons le voir au cours de cet état de l'art, toute l'histoire de la recherche en interaction humain/machine est le produit d'une rencontre entre différentes disciplines, qu'elles soient issues des mondes de l'ingénierie, de la recherche scientifique, mais aussi des arts vivants, du design et du divertissement.

Par le biais de leurs outils, objectifs et méthodes propres, les chercheurs, ingénieurs artistes ont contribué à faire avancer au cours des dernières décennies des questionnements trouvant comme points d'orgues l'individu au centre et la qualité de son expérience vécue. Ces langages et registres différents ont ainsi apporté des notions et concepts propres, mêlant aux notions d'engagement et de motivation de la psychologie l'idée d'expérience esthétique empruntée au monde des arts, et celles d'ergonomie et d'efficacité provenant plutôt des sciences de l'ingénieur.

Les bonnes pratiques qui constituent aujourd'hui notre « culture du numérique » reposent donc aujourd'hui sur un langage pluriel et sur une théorie du design d'expérience qui est le produit direct de cette rencontre. Ainsi, pour bien préciser le contexte dans lequel s'insère notre étude, nous tenterons tout d'abord de reconnaître cet héritage multiple, en le centrant sur l'être humain qui y sera parfois nommé sujet, utilisateur, public, ou participant selon la discipline qui l'invoque.

Tentons de retracer les prémices de cette idée de design centré utilisateur et voyons comment elle est le résultat d'un changement progressif de point de vue au sein des différents domaines qui l'ont vu naître.

1.1 • Mécanismes d'engagement dans une interaction

1.1.1 • L'énaction pour la construction du sens

Prenant tout d'abord pied sur une littérature en psychologie cognitive, nous assistons tout au long du 20^e siècle au renouvellement d'une science du vivant. Portés par plusieurs courants de pensée comme le Gestaltisme et la cybernétique, ceux-ci cherchent à rompre avec une vision où l'humain est considéré comme un réceptacle passif, dénué de subjectivité et entièrement soumis aux événements survenant dans son environnement. Ces mouvements proposent une psychologie cognitive où l'humain est vu comme acteur de ses propres expériences, il y est reconnu comme doué de capacités à organiser l'information, à en extraire du sens et à l'appliquer à travers ses interactions avec le monde. Il se développe alors lui-même ainsi à travers elles.

À la frontière entre biologie et cybernétique, Francisco Varela et Humberto Maturana proposent dans les années soixante-dix de développer un modèle du vivant à travers leur théorie de l'autopoïèse (Maturana & Varela, 1972). Un système *autopoïétique* y est vu comme un ensemble de mécanismes en continuelle transformation, s'autorégulant à l'aide des boucles sensori-motrices dynamiques et réagissant aux phénomènes qui surviennent en lui et autour de lui. Cet ensemble est auto-producteur et en continuelle interaction avec l'environnement qui le produit, l'action y est constitutive de la perception (Fig. 1).

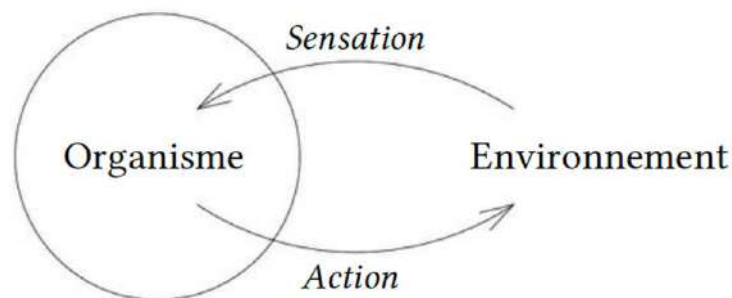


Fig. 1 • Le système Autopoïétique en interaction avec son environnement propre

L'organisme existe pour et selon ses propres règles (Varela, 1989; Penelaud, 2010), se réalisant alors en tant qu'individu au sein de l'espace qui l'accueille (Varela et al., 1974).

Dans la lignée du courant phénoménologique, Varela étend quelques années plus tard le principe de l'autopoïèse à la cognition même. Avec la théorie de l'énaction, il amène l'idée que la conscience de soi émerge de l'action même d'être au monde. L'individu y est considéré comme spécifiant son environnement en même temps qu'il se spécifie lui-même, ils sont ainsi indissociables car ils co-adviennent simultanément (Penelaud, 2010).

La cognition est dite incarnée – l'interaction par le corps et la mobilité sont les conditions même de son autonomie – et énéactée, car elle existe au sein du monde (Varela et al., 1993).

Ainsi, que ce soit dans l'interaction avec l'environnement ou avec un objet spécifique, l'individu est dans un processus de construction de sens permanent, contextualisé aux regards du corps et du monde qu'il ne cesse d'éprouver et de réévaluer.

S'adaptant continuellement aux modalités d'interaction que son environnement lui propose (affordances), il construit son expérience et s'y laisse dériver au gré des réactions qu'il provoque. De son action sur le monde dépend ainsi sa propre spécification.

1.1.2 • La motivation intrinsèque pour l'engagement dans l'interaction

Si au regard de l'énaction, la phénoménologie de l'interaction ne peut être pensée que de manière holistique, c'est-à-dire en la contextualisant et en prenant en compte les singularités de l'individu et de l'environnement dans laquelle elle prend forme, les questions de l'engagement et de la mise en mouvement impliquent de considérer l'action comme liée à un autre ensemble de mécanismes.

En marge du développement de la pensée cognitiviste, la psychologie humaniste étend l'idée d'individualité à la capacité de faire des choix décisifs en pleine conscience. Des chefs de file comme Carl Rogers et Abraham Maslow questionnent l'engagement et la motivation de l'individu, en contextualisant l'action au regard de buts personnels. Ils reconnaissent en l'humain une capacité de libre arbitre qu'il manipule en quête de sa propre réalisation.

La dimension intrinsèque de la motivation, formulée par Edward Deci et Richard Ryan dans leur théorie de l'autodétermination (1985) explicite la propension d'un individu à trouver un intérêt dans une activité lorsque celle-ci contribue à la satisfaction de trois besoins fondamentaux qui sont les sensations de *contrôle*, *d'autonomie* et *d'appartenance*. La satisfaction de ces besoins rend alors possible l'engagement dans une activité de manière volontaire et prolongée, sans en attendre la moindre récompense ultérieure.

Un stade suprême de la motivation intrinsèque est décrit dans les travaux de Csikszentmihalyi sur le Flow (1990). Celui-ci décrit un état cognitif d'engagement ultime, favorisant le maintien de hauts niveaux d'attention et de concentration pendant un temps important. Le sens créatif et les capacités de mémorisation y semblent également décuplés, et l'expérience paraît sous contrôle, la possibilité de réussir la tâche en cours ne fait aucun doute.

L'activité est alors intrinsèquement gratifiante, autosuffisante, autotélique. Elle est pratiquée alors sans autre but qu'elle-même.

« [En état de Flow,] certaines personnes sont si investies dans une activité que rien d'autre ne semble avoir d'importance » (Csikszentmihalyi, 1990)

« Vous perdez le sens du temps... L'idée est que l'on en est si saturé qu'il n'y a plus de futur ou de passé, c'est juste une extension du présent dans lequel vous construisez et déconstruisez le sens. » (Témoignage de Mark Strand, dans Csikszentmihalyi, 1996)

La notion d'activité est ici prise au sens large, les phénomènes de Flow peuvent en effet être observés et recherchés dans de nombreuses pratiques, que ce soit en compétition de sport de haut niveau, en pratique vidéoludique ou en « développement personnel ».

À partir de ses nombreuses recherches et témoignages recueillis dans ses travaux, Csikszentmihalyi montre que l'état de Flow semble lui aussi conditionné à cette satisfaction des besoins fondamentaux de contrôle et d'autonomie. Une particularité néanmoins réside

dans la nécessaire corrélation entre les capacités de l'individu et le niveau de challenge exigé par la tâche. L'auteur propose alors un modèle permettant de représenter ce principe clé (1990), faisant apparaître le Flow dans une zone d'équilibre entre deux axes, opposant le niveau de compétences du sujet et la difficulté de la tâche (Fig. 2).

L'expérience optimale y est, selon ce modèle, conditionnée à une réévaluation constante de la relation entre l'individu et l'objet d'interaction.

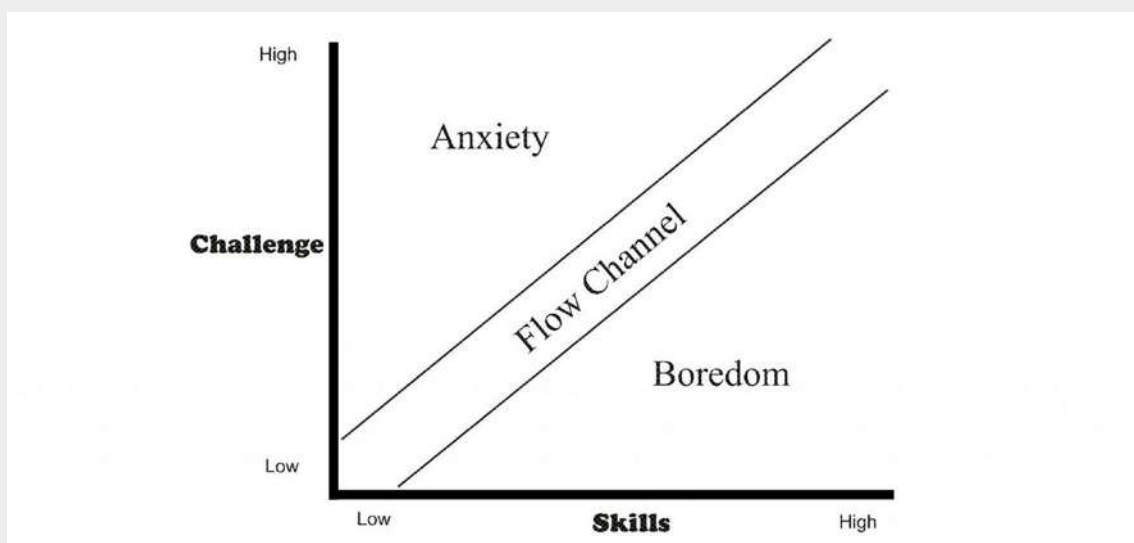


Fig. 2 • Le modèle représentant la zone de Flow

De nombreux outils s'inspirent aujourd'hui de ce modèle, que ce soit pour faciliter l'apprentissage, le management d'équipe, ou le développement de la créativité (Borderie, 2015 ; Rathunde, 2015).

Ces travaux suggèrent finalement de rechercher dans toute activité une dimension intrinsèque, et à en imaginer les degrés de contrôle et d'autonomie pouvant être laissés au gré des pratiquants.

Ces différents travaux mettent tous en jeu l'interaction et la fluidité de ces boucles action-perception comme centrales dans la décision d'engagement et dans le plaisir pouvant être retiré d'une expérience.

Ce raisonnement nous invite donc à envisager la volonté d'engagement, non pas comme liée à une quelconque promesse de résultats ultérieurs mais davantage à de hautes réactivités et adaptativités des éléments en interaction (dans notre cas l'utilisateur et l'interface).

Satisfaire les besoins fondamentaux de l'utilisateur, et adapter en même temps le niveau d'exigence en fonction de ses capacités et envies du moment semble alors décisif pour renforcer les dimensions intrinsèquement motivantes et autotéliques de l'expérience, et rendre l'interaction plaisante pour elle-même.

1.2 • Le design d'interaction, une recherche transdisciplinaire

Le second socle, déterminant vis-à-vis de notre étude est celui issu d'un dialogue de plusieurs décennies qui anime les mondes de la recherche en arts et en design, et les mondes de l'informatique et de l'ingénierie.

Si notre étude se focalise aujourd'hui sur les nouveaux possibles offerts par ces interfaces spatialisées et gestuelles, c'est parce que ces différents milieux se sont vus devenir étroitement complémentaires. Nous allons le voir, c'est à mesure que l'être humain a progressivement été remis au centre des préoccupations qu'ont pu se développer des concepts comme celui d' « expérience utilisateur ».

C'est dans la recherche en IHM (pour *Interaction Humain/Machine*, HCI en anglais) que l'on assiste au début des années soixante à quelques inventions majeures, et dont notre approche est la digne prolongation.

1.2.1 • GUIs et IHM, une recherche en interaction humain/machine

En marge d'une démocratisation grandissante des dispositifs numériques et de leur intégration dans la vie quotidienne (ordinateurs, imprimantes, et autres fax), plusieurs avancées majeures initient ce qui donnera naissance à ce courant de recherche en Interaction Humain/Machine.

Au MIT, des inventions comme le *Sketchpad* d'Ivan Sutherland proposent pour la première fois d'associer un geste à une production numérique, dans le but de créer et éditer des plans (Fig. 3). C'est la naissance des GUIs pour (Graphical User Interface).

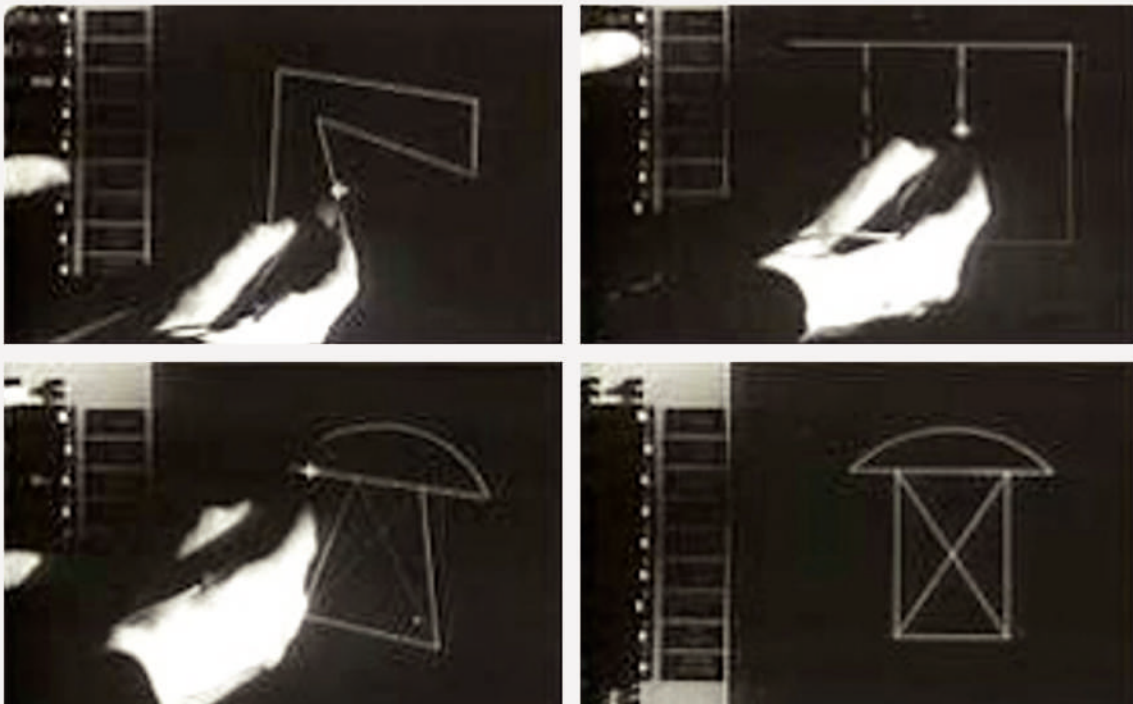


Fig. 3 • Le Sketchpad d'Ivan Sutherland (1963), un crayon lumineux permet de dessiner directement sur le tube cathodique puis de modifier les images géométriques avec les touches du clavier

En 1967, il réalise ensuite un premier prototype de casque affichant des images de synthèses, une prémisse des casques de réalité virtuelle que nous connaissons aujourd'hui (Fig. 4).

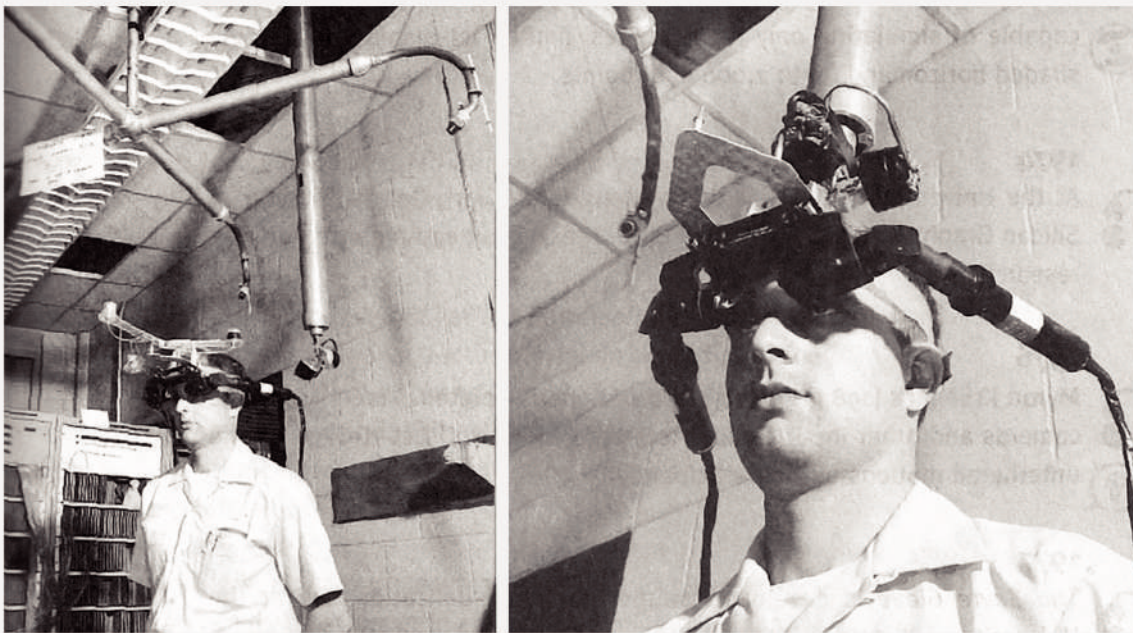


Fig. 4 - Le premier casque « immersif » développé par Ivan Sutherland en 1967

Les GUIs cherchent à répondre à ces courbes d'apprentissage complexes, induites par les interfaces en ligne de commande (CLI). Elles cherchent ainsi à représenter les données numériques par des symboles et concepts tirés du monde réel. Les WIMPs (pour Windows, Icons, Mouse, Pointer) prolongent directement cette approche, afin de rendre toute interaction avec les données plus explicites.

Cette recherche en IHM développe le concept d'*interface* d'une manière qui fait un lien direct aux théories de l'autopoïèse et de l'énaction. L'interaction entre un individu et un objet numérique peut être symbolisée comme la rencontre de deux entités régulées l'une et l'autre par leurs propres processus internes, et communiquant avec l'extérieur via des processus d'échange.

Chacune communique à l'autre un ensemble de flux d'informations, dont l'*interface* est le relais et le traducteur (Fig. 5).

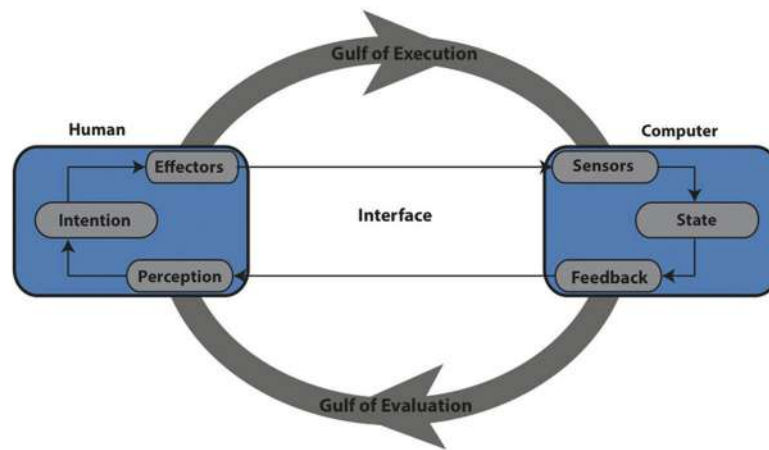


Fig. 5 • La boucle action/perception entre l'utilisateur et le système (Limerick et al 2014)

L'humain perçoit à travers ses différents sens, interprète à partir de ses expériences passées et en estime ce qu'il est en capacité de faire.

Cette indication instantanée sur l'état de la donnée semble alors être un argument indispensable à tout développement d'expérience dédiée à la créativité, où à l'instar d'un dessinateur et de son crayon, toute action laisse un effet immédiatement visible qui permet à la fois d'assurer l'utilisateur de ses capacités et lui offre en même temps une vision claire des nouvelles voies qui se dessinent pour lui. C'est en ce sens que le concept *What You See Is What You Get* voit également le jour (WYSIWYG).

Rappelant à nouveau les principes de l'énaction, on peut voir l'interaction comme le résultat d'une boucle perception/action en permanente activité, dont les déclencheurs seront ici nommés *triggers* et les réactions *feedbacks*.

Ces feedbacks pourront être dans notre cas développés à travers des écrans, des haut-parleurs, voire des dispositifs haptiques ou olfactifs.

1.2.2 • La complémentarité entre IHM et art numérique

Partenaire privilégié de notre étude sur l'interaction Humain/Machine, le milieu des arts est déjà dès les années cinquante animé d'un débat sur ce qui permet à une œuvre d'art d'être tout simplement art. Préalablement vue comme suffisante en soi, une œuvre ne peut être, selon certains artistes comme Marcel Duchamp, vue comme complète que grâce à la présence et à l'engagement émotionnel du spectateur.

“Le spectateur établit le contact de l'œuvre avec le monde extérieur en déchiffrant et en interprétant ses qualifications profondes et par là ajoute sa propre contribution au processus créatif” (Duchamp, 1957).

L'œuvre est pensée comme intégrée à un contexte (exposition, performance, environnement), et chaque personne qui s'en empare participe à sa réalisation, développant ainsi une expérience unique et personnelle.

Dans la digne succession des courants artistiques performatifs et interactifs, qui se développent au début des années soixante, la position du spectateur s'impose progressivement comme centrale et indissociable de l'œuvre. L'émergence des technologies interactives portées par la recherche en IHM donne lieu à l'avènement d'un art¹ « numérique ».

Détournant et hackant ces dispositifs à des fins esthétiques et exploratoires, artistes et designers jouent un rôle important dans l'élaboration de nouvelles relationnalités avec le numérique (Fig. 6 & 7).

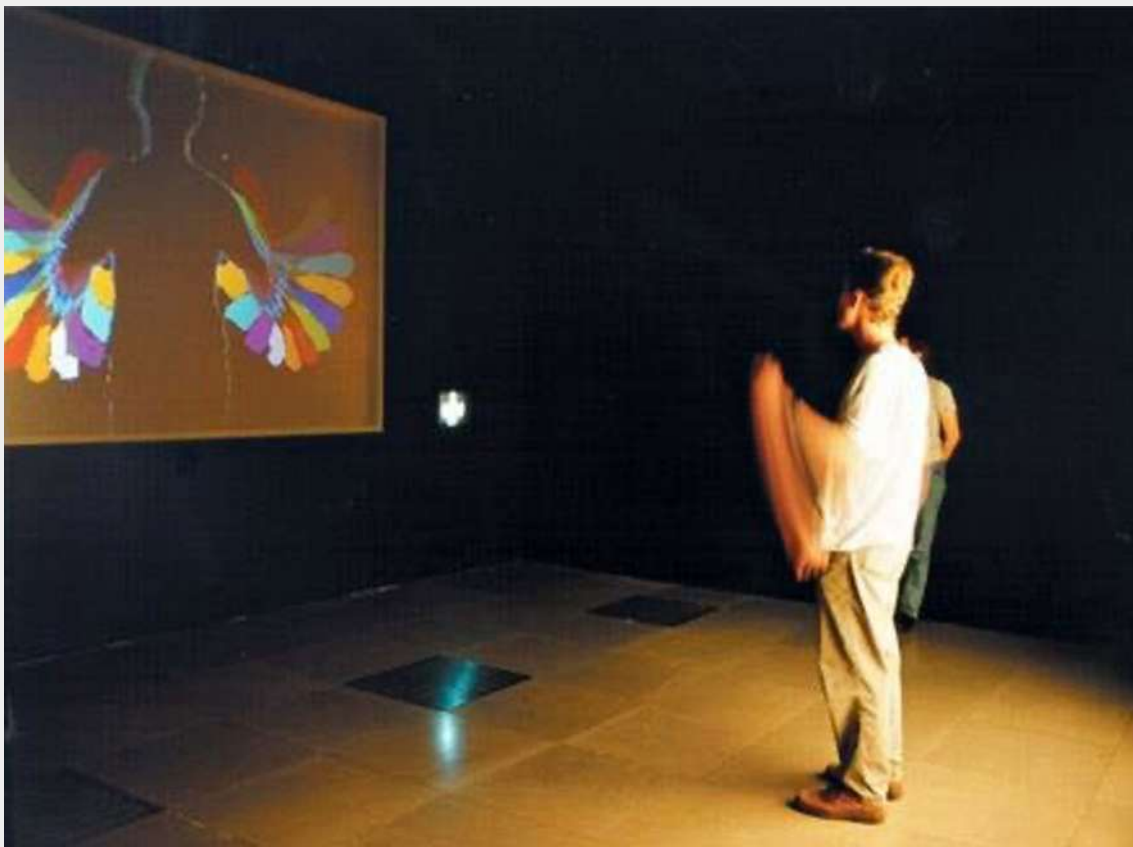


Fig. 6 · Videoplace de Myron Krueger (1974), un participant face à un écran aperçoit sa silhouette

¹ On désigne par « art numérique » tout art réalisé à l'aide de dispositifs numériques – ordinateurs, interfaces et réseaux. Cette définition reste technique et générique. Elle englobe les multiples appellations désignant des genres particuliers de l'art numérique, comme l'art virtuel, l'art en réseau, le cyberart, etc. (source : Encyclopédie Universalis)



Fig. 7 • *Legible City* de Jeffrey Shaw (1989), un participant sur un vélo et face à un écran pédale dans à travers une ville virtuelle

Cette relation entre artistes et ingénieurs dans la recherche en IHM peut paraître dans un premier temps difficile à concilier, les premiers s'éloignant volontiers des méthodes et protocoles préétablis et cherchant à atteindre d' « ultimes singularités », les seconds en revanche devant faire preuve de la rigueur nécessaire à l'établissement d'un savoir absolu et supposé universel. C'est cependant dans leur tolérance à l'échec mais également dans leur engagement vers ce qui semble « juste » dans l'expression et les émotions, que les artistes peuvent proposer une complémentarité indéniable. Leurs capacités à sortir des cadres, à dépasser les limites établies d'un problème posé et à jouer avec, participe à l'émergence d'expériences interactives s'éloignant des critères qualitatifs répandus dans le monde de la recherche en IHM.

Cet art « interactif » se concentre alors sur l'échange qui survient entre un ou plusieurs êtres humains avec les objets, lieux, et contextes proposés, mais aussi sur la qualité des émotions ressenties et sur l'expérience esthétique globale vécue par le spectateur. Ces œuvres sont praticables, proposant des potentiels qui ne se réaliseront qu'à la saisie ou via l'interaction. Elles font le lien entre deux registres d'activité à priori opposés, la contemplation et l'usage (Bianchini et Verhagen, 2016).

Cette recherche tournée vers la qualité d'interaction se trouve comblée alors un manque certain dans les mondes des IHM, et les frontières entre disciplines artistiques, d'ingénieries et de recherche se font alors plus ténues. Les ingénieurs s'inspirent des manières dont les artistes détournent leurs outils des fins pour lesquelles ils ont été conçus, se laissent proposer de nouveaux modèles interactifs inspirés des pratiques comme l'improvisation musicale, la danse ou le théâtre, mais tirent aussi profit des expertises des designers pour la conception d'objets (interfaces tangibles), de séquences (design de gestes ou de sons), et de parcours narratifs et expérientiels.

Certaines conférences scientifiques comme la CG70² en 1970 ou SIGGRAPH³ en 1981 intègrent alors des sections sur l'art graphique informatique et des expositions artistiques comme parts centrales de leurs événements. Les institutions historiques comme Xerox Parc développent des résidences d'artistes, et des centres de recherche prestigieux comme le MIT Media Lab ou l'IRCAM invitent artistes ingénieurs et scientifiques à travailler ensemble.

1.2.3 • Une recherche en design d'interactions à la croisée de multiples disciplines

De l'IHM vers la recherche en design d'interactions

Si l'IHM a contribué très significativement à l'amélioration des dispositifs interactifs numériques qui nous sont aujourd'hui usuels et familiers, c'est peut-être dans ses critères même d'évaluation de la qualité qu'elle se retrouve limitée en termes d'innovation. L'IHM se concentre effectivement sur l'efficacité et l'efficience vis-à-vis de la réalisation de tâches données, mais elle n'intègre en nul endroit les notions qui sont aujourd'hui centrales dans la recherche en design d'interactions, comme les vertus émotionnelles et esthétiques de l'expérience (Löwgren, 2002 ; Fallman, 2008).

La recherche en design d'interaction émerge de ce constat et s'accorde bien volontiers à réunir des principes issus des sciences de l'ingénieur, de la psychologie et de l'art pour développer ses productions. Elle en est d'ailleurs le produit direct (Löwgren, 2002).

Elle intègre comme soucis majeurs non pas simplement l'apparence d'un produit, mais comment celui-ci réagit et évolue, et avec quelle élégance il nous amène à un résultat. Toute la dimension temporelle qui précède la réalisation d'une tâche est considérée, dans sa non-linéarité et sa pertinence vis-à-vis des interactions passées.

La recherche en design d'interaction prend à ce sujet une vision plus holistique de la relation entre utilisateur, contexte culturel et social d'utilisation et produit numérique.

Rappelant alors la logique énaactive, on peut modéliser ces nouvelles boucles action/perception comme profondément multirelationnelles, en contextualisant chaque feedback à l'environnement et à l'histoire de la relation dans lesquels les échanges prennent corps (Fig. 8). Contextualiser ainsi le sens donné aux actions de l'utilisateur semble être une condition indispensable pour que l'interaction qui en découle soit cohérente et adresse les mécanismes d'engagement de manière proprement adaptée.

² International Symposium Computer Graphics, Brunel University, UK 1970.

³ The Special Interest Group on Computer Graphics

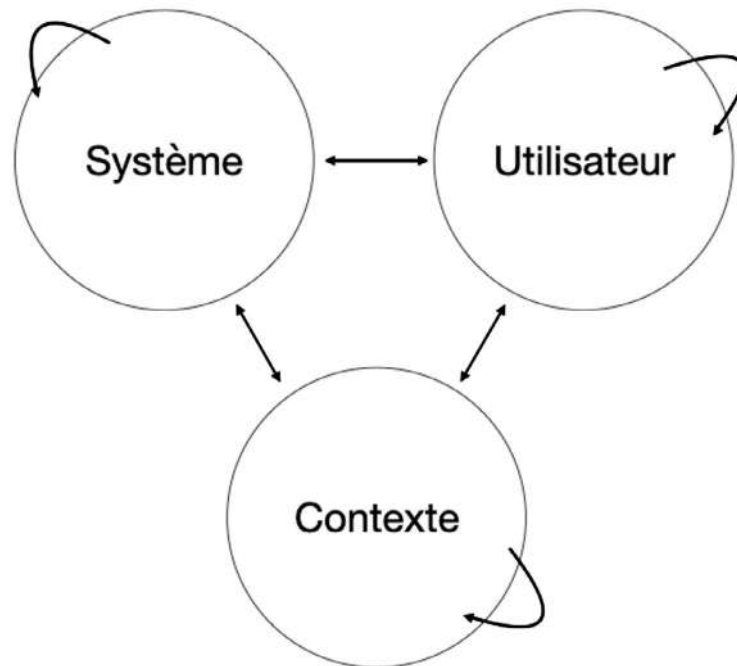


Fig. 8 • La triade des interdépendances de l'UX : Système / Utilisateur / Contexte

Plus que contextualiser, le rôle des designers d'interaction doit être animé par une mission réellement innovatrice, celle d'explorer des futurs possibles, auxquels les concepteurs et les utilisateurs ne sont pas encore préparés. Cette attitude doit être dirigée vers une dialectique entre tradition et transcendance, afin que les utilisateurs puissent découvrir et apprécier les nouveaux possibles offerts par ces technologies mais que celles-ci restent dans le domaine de ce qu'ils peuvent en comprendre et en maîtriser (Löwgren, 2002).

À mesure alors que se perfectionnent les capteurs et algorithmes de reconnaissance gestuelle, l'innovation en design d'interaction peut orienter son développement vers des modalités dites « naturelles ». Elle se calque sur ce en quoi les utilisateurs sont déjà experts tout en proposant de nouvelles manières de questionner le corps et ses limites perceptives.

En basant l'interaction sur l'acquisition de données subtiles provenant des langages verbaux et non-verbaux, les frontières traditionnelles entre l'utilisateur, l'environnement et le système numérique se brouillent. L'interface devient une continuité hybride d'un corps qu'il est nécessaire de réexplorer. Face à ce constat, il est nécessaire de mettre en scène les corps en mouvement comme des outils centraux de la recherche.

Plutôt que de contraindre les utilisateurs à s'approprier des fonctions interactives complexes, certains chercheurs en interactivité les laissent au contraire s'approprier les dispositifs de manière libre, leur laissant par les retours qu'ils en perçoivent le soin d'en construire du sens.



Fig. 9 • Un utilisateur immergé dans l'installation *Grainstick* (2010)

C'est le cas avec l'œuvre *Grainstick* (Fig. 9), où Pierre Jodlowsky propose, une expérience de création sonore basée sur le mouvement, où l'expressivité corporelle est mise au centre de l'échange interactif (2010).

Un public non musicien s'empare de contrôleurs gestuels et, immergé dans un environnement visuel et sonore, il compose une forme esthétique faite de différents tableaux, où les métaphores naturelles rappellent des écoulements d'eau ou des percussions.

La relation entre les mouvements du corps et l'œuvre y est organique car totalement intuitive⁴, elle se construit directement à travers la manipulation. Suivant ce principe, chaque utilisateur peut s'emparer à sa manière de l'expérience, pour venir y trouver une expérience personnelle et unique, sans nécessiter une explication préalable du fonctionnement du système.

Sarah Fdili Alaoui propose dans *A light Touch* de nouvelles modalités gestuelles pour nouer une relation entre les gestes et les oscillations d'un spot lumineux (Fig. 10).

Dans leur étude de 2012, Fdili Alaoui et al. y comparent deux paradigmes d'interactions, l'un basé sur la position et les déplacements relatifs de la main, et l'autre sur un contrôle par analyse des qualités de gestes (un concept issu de la danse permettant de donner un caractère à un mouvement).

⁴ Le terme intuitif désigne ici un mode d'action qui ne nécessite pas un recours au raisonnement. Il est à noter que l'intuition reste une faculté de l'esprit qui est profondément liée à ses contextes de développement et d'évolution. Un design dit « intuitif » se veut donc nécessairement pensé pour correspondre à un public donné, appartenant à un environnement social bien défini.

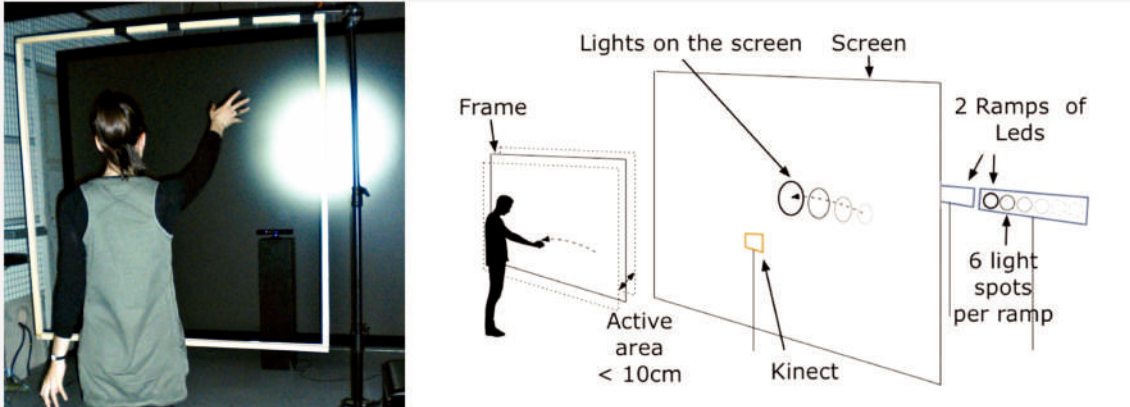


Fig. 10 • L'installation de *A light Touch*

Les deux modes d'interactions associent le mouvement de la main aux comportements de la lumière, mais chacun offre un niveau de complexité et d'abstraction différent.

Dans le premier paradigme, la position horizontale de la main contrôle la direction de la lumière et sa position verticale contrôle son intensité.

Dans le second paradigme d'interaction en qualités de gestes, l'installation est entraînée à répondre à des gestes métaphoriques tels que :

- « The Breathing », un mouvement ample connecté à la fréquence et à l'énergie du scintillement de la lumière.
- « The Expanding », la lumière oscille autour du centre à une fréquence liée à celle de la main.
- « The Reducing », la lumière balaie l'espace et se dissipe à une vitesse correspondant à l'énergie de la main de l'utilisateur (Fig. 11).



Fig. 11 • Différentes postures métaphoriques pour le contrôle des mouvements lumineux

Les deux formes interactives sont jugées très intéressantes par les participants de l'étude. L'interaction basée sur la position de la main est qualifiée de plus directe et plus simple

à comprendre, mais celle utilisant les qualités de geste apparaît néanmoins plus sensible et plus engageante, offrant une meilleure qualité d'expérience vécue. Fdili Alaoui et al. concluent en renforçant ici la distinction entre l'idée d'ordinateur-outil et d'ordinateur-partenaire, distinguant en même temps la nature du langage à y utiliser dans ces deux cas. Cette distinction illustre l'un des principes centraux des interfaces naturelles qui implique de penser ces modes interactifs non pas en imitation des interfaces humain/machine traditionnelles mais à travers de nouveaux modes plus imagés et sensibles (Wigdor & Wixon, 2011).

Cette rencontre entre art numérique et recherche en interaction participe à ce que Fallman nomme la troisième vague de l'IHM, qui fait émerger comme question centrale celle de l'expérience utilisateur (UX pour User eXperience). L'engagement et le parcours en sont les notions reines (Fallman, 2011).

1.3 • Les nouveaux enjeux des NUIs

1.3.1 • De nouveaux enjeux à définir

Face à ce constat, il convient de définir proprement les enjeux sous-tendus par ces nouvelles modalités interactives. Nos précédentes références développent l'idée d'interaction et d'engagement comme le fruit de multiples adaptations entre un participant vis-à-vis de son objet d'interaction, dans le but d'y développer une base de sens et d'affiner son action. La motivation à s'engager dans une interaction est fortement sous-tendue par l'intérêt qu'on y trouve, porté par l'activité elle-même et pas seulement par la réussite d'une tâche donnée.

Les interfaces dites naturelles⁵ émergent d'un changement profond de paradigme de pensée, où des formes inédites de relations avec les données numériques viennent à être envisagées. En sortant du seul écran de l'ordinateur pour s'intégrer dans l'espace en trois dimensions, elles offrent une hybridité entre les mondes physique et immatériel. Elles créent les conditions pour repousser les limites du corps et de la perception, amenant à la conception de nouveaux types de parcours utilisateurs.

L'exploration y est souvent ludique, intuitive, on y apprend au gré de la manipulation, et des modalités d'interaction implicites commencent à alimenter les systèmes, à travers la contextualisation et l'interprétation plus fine des actions des individus.

Ces nouveaux paradigmes offrent des horizons extrêmement vastes d'applications, envisageant des expériences pouvant se déployer intelligemment avec l'utilisateur, construisant avec lui une relation unique et l'accompagnant dans l'exploration de nouveaux potentiels corporels.

Les règles qui fixent les bonnes pratiques de conception se font au rythme et au gré de l'innovation⁶. D'innombrables expériences et prototypes partagés par les développeurs et designers du monde entier amènent à l'établissement progressif de nouvelles règles et habitudes de conception, définissant *in fine* ces nouvelles formes de relations entre l'humain

5 Le terme naturel s'entend ici comme rappelant à des usages du quotidien dans un environnement social situé et pour une typologie d'acteurs donnés. Une interaction ne peut être naturelle que parce qu'elle est pensée de manière proprement contextualisée.

6 Nous entendons par innovation la phase d'introduction sur le marché ou d'appropriation par les usages sociaux de dispositifs techniques nouveaux (source : INSEE)

et le numérique. Pourtant nombre d'entre elles résultent d'une réutilisation de règles interactives 2D déjà existantes. Les « pointeurs », « menus », et autres « fenêtres » n'ont en effet plus de raison d'être dans ces nouveaux paradigmes d'interaction. Au contraire il semblerait nécessaire de faire table rase de ces anciennes modalités devenues des réflexes, pour repenser à nouveau frais la notion même d'interaction naturelle.

Penser une relation avec une interface naturelle invite à voir l'apprentissage du système comme nous comprenons le monde, comme un processus en partie intuitif, où les modalités interactives permettant la prise en main sont déjà connues.

Que ce soit en attrapant des objets, déplaçant du contenu dans l'espace, ou en naviguant à la voix, les utilisateurs appliquent une base de connaissance acquise au cours de leurs interactions quotidiennes et s'en servent pour interagir avec les premières phases de l'expérience.

« Il n'existe rien de tel qu'une interface naturelle ou intuitive [...] Un design d'interface efficient repose sur un transfert de compétences savamment contrôlé. Nous désignons des interfaces afin que les utilisateurs puissent prendre leurs connaissances d'une situation et les réappliquer sur une nouvelle. »
Gord Kurtenbach, directeur de la recherche chez Autodesk

Le parcours se déploie alors au gré de la manipulation, les erreurs y sont génératrices de sens et constitutives de l'apprentissage. La base de connaissance des utilisateurs s'enrichit au fur et à mesure, leur permettant de s'adapter à ces nouvelles capacités extra-naturelles rendues possibles par le système.

Parcourons maintenant une série de références issues de ces mondes de la recherche en interaction, mais aussi des jeux vidéo et de la recherche en réalité virtuelle.

1.3.2 • Faire corps au sein des environnements virtuels

Certains travaux de recherche en psychologie cognitive explorent par exemple la possibilité d'altérer la conscience de soi en en modifiant la perception visuelle.

Dans leur étude de 2015, Osimo et al. repoussent la question de l'*embodiment*⁷ en proposant à un sujet de dialoguer avec lui-même à travers plusieurs corps virtuels.

Dans une première phase, la personne est incarnée dans un avatar à sa propre image et rencontre dans l'univers virtuel un second avatar à l'apparence de Sigmund Freud (Fig. 12). Ce dernier lui demande de se confier à lui vocalement alors que la séquence est enregistrée. Quelques jours plus tard, le même sujet est invité à réitérer l'expérience, incarné cette fois dans l'avatar à l'apparence de Freud. L'avatar à son image est alors présent devant lui et répète la séquence enregistrée plus tôt.

Étant incarné dans le corps du thérapeute, le sujet assiste ainsi au récit de ses propres confidences à travers une posture extérieure, et son extériorisation lui permet alors de se répondre à lui-même, d'une manière franche et objective car littéralement désincarnée.

⁷ Terme issu des sciences cognitives et passé aujourd'hui dans le langage courant sous sa forme anglaise. Désigne à la fois la sensation de faire corps dans l'avatar qui nous est donné à voir, et le fait de se sentir appartenir au monde tel qu'il nous l'est proposé.

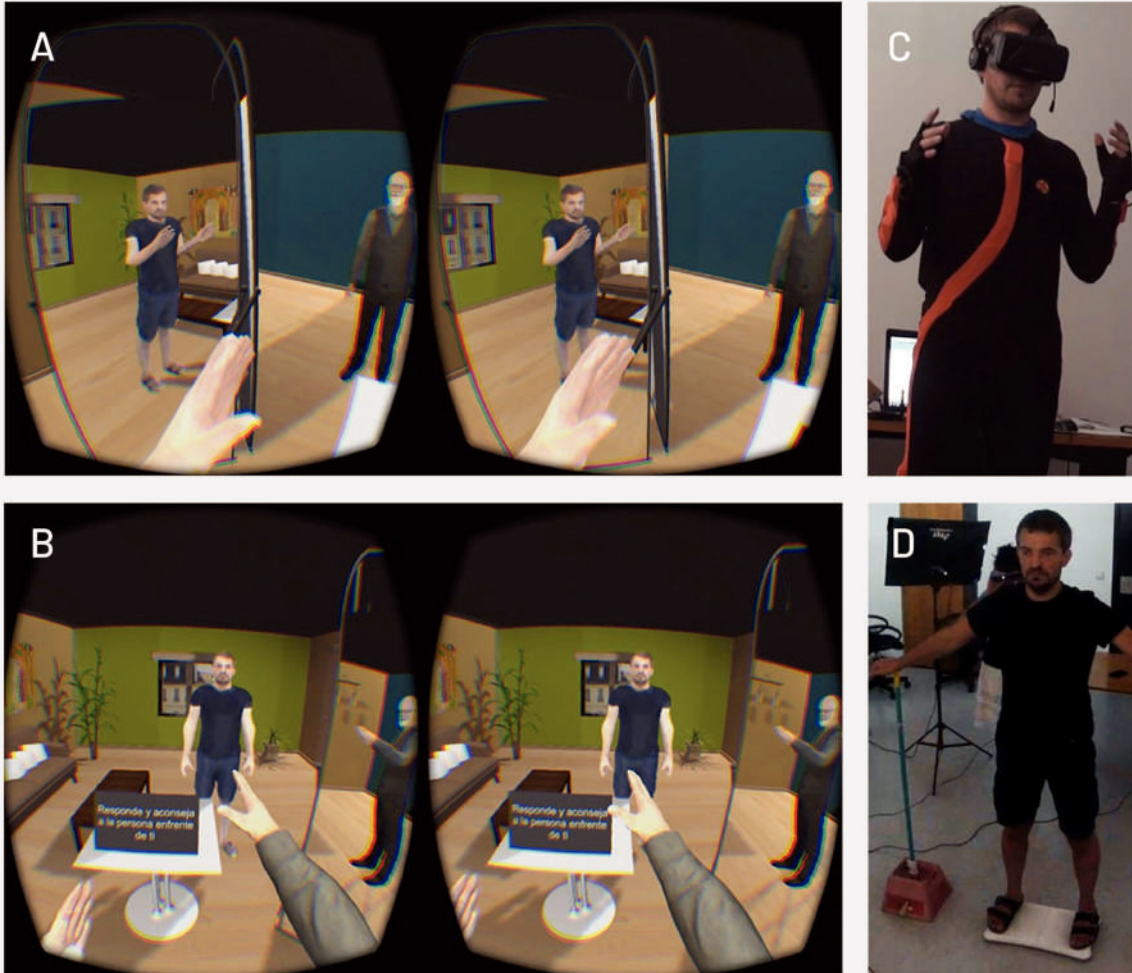


Fig.12 - Les deux points de vue de l'utilisateur dans l'expérience *Virtual Freud*, où l'utilisateur habite successivement son propre avatar et celui du praticien

Cette expérience illustre les possibilités offertes par les technologies immersives où le corps et l'identité deviennent eux aussi des concepts manipulables et altérables, pouvant orienter l'action. L'influence de l'apparence d'un avatar peut en effet avoir un effet radical sur les actions de son occupant. À travers l'effet nommé *Proteus*, détaillé en profondeur dans les travaux de Yee & Bailenson (2007), il est démontré que le réalisme, l'habit, ou la similarité d'un avatar par rapport à ses congénères influe sur le souhait de l'utilisateur de s'engager dans un rapport social ou dans une collaboration. De même, la confiance dans une tâche, l'agressivité et la créativité pourront être altérées et influencées par l'apparence directe du corps habité (Van Der Land et al. 2015; Wallace & Maryott 2009; Yee et al., 2009; Peña et al., 2009). Ces modifications du comportement peuvent même avoir un impact sur le long terme, une fois sorti de l'environnement virtuel.

Ce n'est plus seulement le corps physique qui est ciblé mais le rapport à soi et l'identité même. Le numérique inclut le corps comme un outil hybride pour alimenter la narration et

l'engagement, à travers les jeux de rôle et l'exploration de ces nouvelles identités (Turkle, 1995; Taylor, 2009).

1.3.3 • Des altérités numériques invitant au mouvement

Aux croisements entre arts numériques et des expériences ludiques d'autres travaux proposent des exemples de boucles adaptatives et dynamiques visant à créer une sensation d'altérité.

Une technique très utilisée est par exemple le recours aux avatars anthropomorphes, permettant de représenter une intelligence artificielle dont les traits se prêtent aux nôtres. Le mouvement, les émotions, les réactions s'inspirent des rapports sociaux humains et donnent aux utilisateurs un cadre de base pour engager le dialogue⁸. L'interaction y est alors facilitée, usant de nos tendances à développer des rapports empathiques et sensibles avec ces corps étrangers.



Fig. 13 • « L'Autre » de Catherine Ikam & Louis-François Fléri

Pouvant prendre toutes les formes, tailles et matières, ces corps surprennent parfois par le naturel de leurs réactions, contrastées pourtant par l'évidence de leur origine numérique.

⁸ Lequel dialogue peut alors se retrouver très souvent contrarié, l'anthropomorphisme créant nécessairement des promesses et attentes que le dispositif ne peut alors combler.

Avec l'œuvre « L'autre » (1992, Fig. 13), Catherine Ikam et Louis-François Fléri proposent l'expérience singulière d'une observation mutuelle entre des visiteurs déambulant et un grand masque bleu en images de synthèse. Ce dernier semble les suivre du regard et réagir à leurs actions, c'est notamment grâce à un dispositif émetteur d'ultrasons porté par les utilisateurs, qui permet à des capteurs disposés dans la pièce de les situer par triangulation, via un système spécialement conçu pour l'œuvre.

Ainsi l'œuvre numérique et les spectateurs se comportent déjà l'un par rapport à l'autre selon une sorte de boucle action-perception commune.

Illustrant à merveille l'idée de déséquilibre structurel, l'œuvre *La funambule virtuelle* de Michel Bret, Marie-Hélène Tramus et Alain Berthoz (2015) voit un utilisateur interagir avec un pantin articulé, obéissant à des lois de biomécanique (Fig. 14). Ce dernier se déplace sur un fil et se sert de ses réflexes pour s'y maintenir en équilibre. L'utilisateur, équipé d'un capteur de position et de rotation au niveau du bassin, influence par ses mouvements le déplacement du pantin qui lutte inlassablement contre sa propre chute.

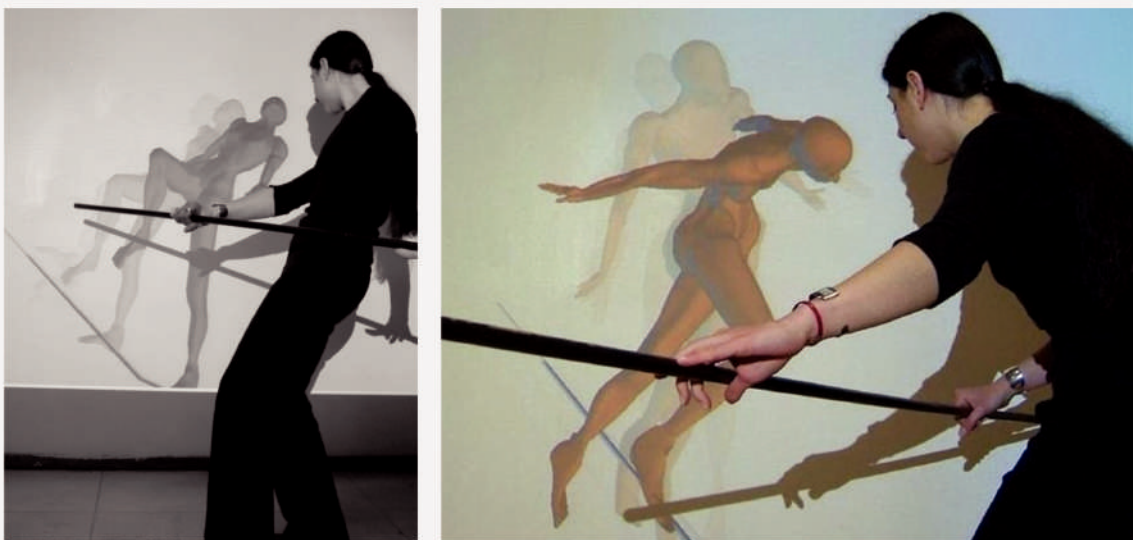


Fig. 14 • Les photos de l'installation *La funambule virtuelle*

Les deux corps improvisent ainsi ensemble à travers cette métaphore explicite du funambulisme, et dans une inter-influence immédiate. L'ensemble de la narration repose sur l'idée même de la suspension, où la chute semblant inévitable mais se laisse finalement attendre.

Dans InterACTE, Batras et al. proposent également une interaction avec un pantin, mais l'interaction y est plus abstraite. Directement inspirée de la théorie de l'éraction, cette expérience amène un danseur et le corps virtuel à bouger ensemble d'une manière totalement improvisée (Batras et al. 2016, Fig. 15).



Fig. 15 • Les trois phases de l'expérience *InterACTE*

Le pantin possède une banque de gestes avec lequel il compose tandis que ceux du danseur sont captés par un dispositif Kinect. Le programme mesure les gestes du danseur et adapte ceux du pantin en faisant varier ses comportements à travers quatre états :

- **Un état d'imitation** : les gestes du danseur sont capturés et reproduits avec un certain délai temporel
- **Un état de pause** : le pantin attend et écoute les propositions du danseur
- **Un état issu des apprentissages passés** : les mouvements appris au cours des précédentes expériences sont sélectionnés en fonction de leurs similarités avec les dynamiques de la performance en cours.
- **Un état de gestes génératifs** : aux gestes pré-enregistrés se voient ajouter un bruit et des facteurs aléatoires pour en composer de nouveaux.

D'un point de vue technique, de multiples informations sont prises en compte par le système (Fig. 16). Parmi elles, différentes positions et rotations des segments du danseur, ainsi que les dynamiques qui y sont associées.

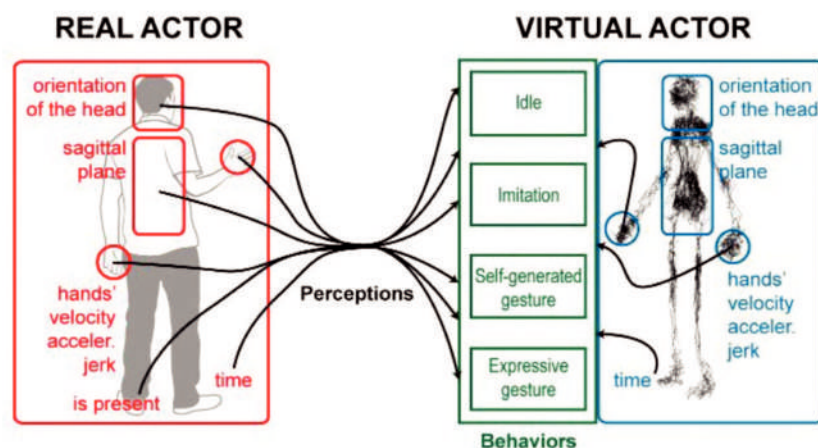


Figure 1. Perceptions of the real and the virtual actor compared to trigger behaviors using the FSM.

Fig. 16 • Les capacités perceptives de l'acteur réel par rapport à celles de l'acteur virtuel

Cette multimodalité interactive lui rend impossible de comprendre totalement son influence sur les changements de comportements du pantin. Il explore ainsi sa relation avec lui, à travers propositions et écoute, se laissant parfois surprendre par les prises d'initiatives du partenaire virtuel.

Les auteurs rapportent que les propositions de gestes nouveaux venant du pantin étaient vues comme des surprises, lui donnant une agentivité et une identité singulières. Certains participants allaient même jusqu'à se projeter mentalement dans le corps étranger pour mieux anticiper ses actions.

Des altérités projectives et abstraites

Sortant du contexte des NUIs, certaines expériences contrastent avec l'approche d'altérité anthropomorphique à travers des modalités d'interaction plus minimalistes.



Fig. 17 • À gauche, le désert dans lequel débute l'aventure est vaste

Fig. 18 • À droite, l'arrivée d'un autre joueur à l'apparence identique est un événement fort du jeu

Dans le jeu vidéo *Journey*, l'expérience est consacrée à développer une sensation de solitude chez le joueur (That Game Company, 2012). Celui-ci incarne un personnage en cape rouge (Fig. 17 & 18) et se déplace dans un désert infini, l'amenant à résoudre quelques énigmes au sein de ruines enfouies.

L'apparition soudaine d'un autre avatar à l'apparence similaire crée de fortes sensations de coprésence. Ayant comme unique moyen de communication le déplacement, l'interaction passe essentiellement par l'observation et l'attente. Un consensus silencieux peut alors se développer, créant une relation forte et évidente. Les joueurs collaborent naturellement mais les incompréhensions peuvent laisser néanmoins perplexe, il est en effet difficile de déterminer si l'autre personnage est piloté par un véritable humain ou par une intelligence artificielle⁹.

Le recours à l'anthropomorphisme peut être source de certaines dérives. En plus du malaise pouvant être occasionné par la plongée en vallée de l'étrange¹⁰, plusieurs travaux nous expliquent que vouloir absolument singer les codes sociaux humains peut conduire à de

9 Si un certain doute put être laissé par les développeurs du jeu quant à l'origine de ce partenaire, il s'avère finalement que celui-ci est entièrement pré-programmé. Toute l'expérience sociale et le narratif interadaptatif que le joueur développe ne sont donc que des projections de lui-même, démontrant en quoi la présence d'un tel « semblable » peut naturellement le guider et le pousser à la collaboration.

10 Le stade à partir duquel le réalisme de l'avatar est tel qu'il en vient à déranger.

la déception, car l'engagement humain y est alors suscité sur la base d'indices sociaux superficiels et souvent faux (Saunders et Gemeinboeck, 2018, McCormack et al, 2020). Les auteurs mettent en garde sur les fausses promesses que cette apparence humaine peut susciter, et suggèrent d'orienter plutôt les efforts sur des conceptions de robots non anthropomorphiques, dont les intentions et le fonctionnement seraient plutôt traduits par leurs mouvements.

Explorant une forme plus réduite de l'altérité, le jeu *Event[0]* (2016) propose un partenaire d'interaction dont l'origine est clairement computationnelle. Le joueur est amené à évoluer dans un vaisseau spatial inhabité et à enquêter sur les causes de cette désertion. Pour cela il doit engager la discussion avec une intelligence artificielle qui est seul maître à bord, ce, au moyen d'interfaces de commande intradiégétiques (Fig. 19 & Fig. 20).



Fig. 19 • À gauche, le vaisseau dans lequel le joueur doit mener son enquête

Fig. 20 • À droite, l'interface de commande permettant de dialoguer avec l'IA

Si l'interface est finalement celle d'un clavier, le langage et le sens proviennent eux de la conversation écrite. Le joueur peut y exprimer son impatience, sa prudence, ainsi que ses inquiétudes et colères, ce auprès de l'intelligence artificielle qui exprime et réagit elle-même à cette large gamme d'émotions humaines.

Pilotant son personnage à travers une vue à la première personne, l'interaction sociale est dénuée de toute représentation corporelle mais reste également très forte car totalement naturelle et intuitive¹¹.

Une recherche en intelligence artificielle propose le *Drawing Apprentice*, un outil de co-créativité développé par Davis et al. dans leur étude de 2015 où les auteurs proposent à l'utilisateur et à la machine de dessiner ensemble en s'auto-influençant (Fig. 21 & Fig. 22). L'outil fonctionne par un système de tour par tour et apprend continuellement, alternant entre proposition de lignes et observation des réponses de l'utilisateur.

¹¹ On trouvera cependant quelques limites à l'échange lorsque l'IA avouera d'elle-même ne pas avoir compris le message formulé.

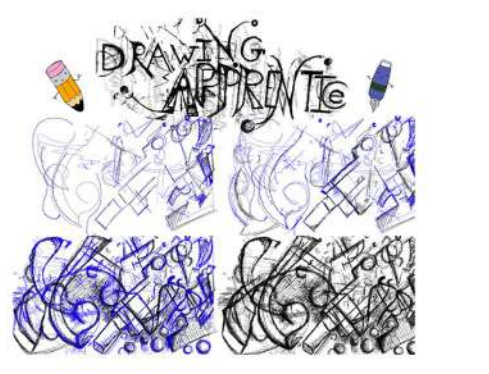


Fig. 21 • À gauche, le *Drawing Apprentice*, outil de co-crédation de dessin improvisée

Fig. 22 • À droite, les différentes phases d'un dessin collaboratif

Le modèle développe sa compréhension du dessin à travers trois niveaux, local, régional et global, chacun apportant un degré de sens différent au produit. Les actions de l'utilisateur sont également analysées et des informations telles que la taille des lignes, leur épaisseur ou le temps entre chaque saisie viennent influencer les propositions du système. L'agent n'a pas de gestes pré-encodés, il formule donc ses propositions à la fois en réponse à l'utilisateur et à l'objet qu'ils coproduisent.

Selon les auteurs, la confrontation à un tel système créatif constituait un motif d'intrigue important pour les utilisateurs. Ces derniers cherchaient à comprendre le fonctionnement du système et étaient à la fois impressionnés et perplexes face aux lignes proposées par le système. Celui-ci semblait en effet comprendre leurs intentions tout en cherchant parfois à les malmenier.

Ce processus de recherche et d'exploration était selon eux moteur de l'engagement, les utilisateurs prêtaient alors à l'agent un degré d'intentionnalité et de créativité parfois au-delà de ce que les chercheurs espéraient (Davis et al 2015).

Dans ces différentes expériences l'altérité émerge donc du fait qu'à travers l'interface l'utilisateur et son interlocuteur usent d'un même langage. Qu'il soit corporel, porté par un avatar en mouvement ou simplement par des médiums textuels et dessinés, l'un et l'autre partagent une agentivité sur la forme coproduite qui émerge de leur rencontre. Les partenaires s'y adaptent l'un à l'autre, résistance et frictions font intégralement partie de la narration.

Ce partage du contrôle amène l'utilisateur à explorer différentes stratégies, pour surprendre le partenaire virtuel, observer ses réactions, ou pour lui donner raison à travers des points d'accord. De Loo et al. conditionnent justement l'émergence de l'individualité d'un agent numérique dans cette capacité à résister à l'action de l'utilisateur (2014).

1.3.4 • Des données spatialisées accessibles du bout des doigts

La possibilité inédite des interfaces spatialisées permet également aux données numériques de se doter de comportements qui se jouent des lois de la physique. Libres des contraintes de la nature, elles peuvent tout en même temps en garder les traits et l'expressivité. Ainsi, à mesure que le corps de l'utilisateur s'étend, les données, elles, se dotent de caractères et de fonctions d'organisation biomorphiques.



Fig. 23 • Le point de vue en première personne de l'expérience *Lyra*

Dans *Lyra* (2016), un projet développé par le studio *Metanaut* dans le cadre de la compétition 3D Jam 2.0 organisée par *LeapMotion*, un utilisateur est équipé d'un casque de réalité virtuelle et d'un dispositif captant les positions de ses mains et doigts (Fig. 23). Il est invité à interagir avec des objets minimalistes qui flottent et s'organisent autour de lui dans l'espace virtuel. Ceux-ci sont associés à des notes et percussions qui, au passage de la main, s'activent et font émerger une pièce musicale.

La matière sonore remplit visuellement l'espace et la musique se pense au bout des doigts. L'expérience de composition prend alors une forme ludique et amène les utilisateurs à créer des motifs originaux et audacieux, rendus possibles par cette manipulation directe des notes et accords.

Dans *Tamed Cloud* (Garnier et al., 2019), un projet développé par le groupe Spatial Media d'Ensadlab, « un utilisateur immergé dans un environnement virtuel fait face à un nuage de données flottant et mouvant » (Fig. 24). Celui-ci est composé de milliers d'images et se déplace dans l'espace à la manière d'un essaim d'étourneaux.



Fig. 24 • Une représentation du projet *Tamed Cloud*

Via une interface vocale, l'utilisateur peut formuler des ordres au nuage, lui demandant de s'agencer et de se filtrer de différentes manières. Par les gestes il peut ensuite saisir, manipuler et organiser ces données tout autour de lui, développant ainsi un espace de consultation et de visualisation versatile, invitant au mouvement et à une manipulation plus sensible.

Ces nouveaux modes de consultations permettent d'envisager des jeux de données massifs comme une matière créative et esthétique, non envisageable à travers les paradigmes interactifs traditionnels.

Pouvoir organiser les données à travers différentes échelles de distances permet par exemple d'en faciliter la saisie et la réévaluation. La doter également de comportements et d'une forme de semi-autonomie apparaît comme une modalité intrigante, où l'imagination et l'intuition se mélangent à merveille avec les besoins intrinsèques de contrôle et d'autonomie dont nous parlions plus tôt.

L'utilisateur est face à un système où tout semble possible, l'invitant à redoubler lui-même de créativité pour en éprouver les limites. Par cette exploration ludique et sérendipitaire, il s'engage naturellement dans une réflexion sur ce qu'il souhaiterait pouvoir réaliser, et crée lui-même les règles de l'expérience.

Dans leur article de 2019, Garnier et al. y font part des nombreux commentaires enthousiastes suscités lors des premières phases de test du projet. *Tamed Cloud* est aujourd'hui destiné à être décliné dans divers milieux de la recherche scientifique, de la médecine, et à tout autre environnement pouvant profiter de tels outils de visualisation de jeux de données massifs.

Les expériences présentées ici brouillent chacune à leurs manières les limites entre l'objet d'interaction (au sens manipulable, interactif), l'espace numérique et l'espace physique environnant.

En proposant des partenaires d'interaction pouvant être dotés d'une forme de conscience artificielle, ces expériences laissent entrevoir des nouveaux contrats sociaux humain/machine et ancrent l'idée d'une multitude de possibles « altérités » numériques.

Le contexte d'interaction y prend alors forme dans un entre-deux, ni complètement humain ni complètement informatique. Les systèmes se dotent d'une forme de sensibilité, tandis que les utilisateurs voient leurs propres certitudes remises en cause lorsque leurs frontières agentives et corporelles sont à rétablir. Ces designs mettent alors à profit leurs mécanismes naturels de construction de sens et d'auto-spécification.

Ces relationnalités numériques semblent ici pouvoir prendre de nombreuses formes. Afin de pouvoir mieux déconstruire notre problématique, tentons de définir à présent d'une manière plus exhaustive et globale les contours de ce qui peut composer ces langages interactifs naturels.

1.4 • Des interfaces souples et adaptatives

1.4.1 • Quelles données pour baser l'adaptation

Reprenant notre modèle de boucle action/perception incluant le contexte d'interaction (Fig. 8), nous pouvons détailler davantage ces nouveaux langages interactifs « souples » à travers les trois composantes que sont l'individu, le système et l'environnement qui accueille l'interaction.

Données d'utilisation et de l'utilisateur

Une interface peut être pensée comme « naturelle » si elle reconnaît le caractère à la fois incarné et situé des individus, en contextualisant leurs actions à des informations biologiques et psychologiques. Ces informations sont multiples et peuvent fluctuer dans le temps, comme l'expose le modèle ci-dessous (Fig. 25 - Mladenovic et al. 2017).

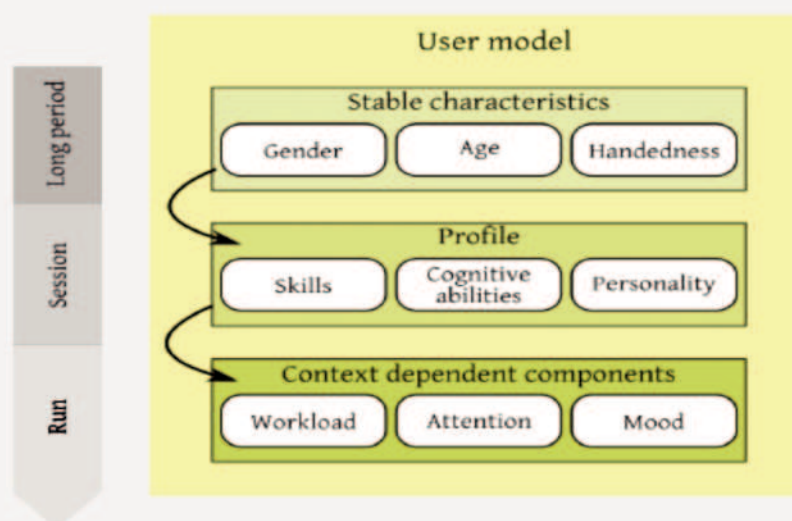


Fig. 25 • Un modèle utilisateur séparant certaines de ses caractéristiques en fonction de leurs fluctuations temporelles (Mladenovic et al. 2017)

Certaines de ces caractéristiques sont stables, comme l'âge, le genre, la latéralité. D'autres évoluent au cours de la vie et peuvent changer d'une utilisation à l'autre, telles que les compétences et connaissances préalables du système (résultantes d'expériences passées ou similaires), les aptitudes cognitives, la personnalité (telles que l'ouverture aux nouvelles expériences, l'extraversion etc.). Certaines caractéristiques enfin sont changeantes tout au long de l'expérience: la charge cognitive, les capacités d'attention, ou encore les envies, les buts, l'état émotionnel.

Des variations dans ces données peuvent conduire les utilisateurs à vivre différemment l'expérience interactive, à commencer par un changement radical de l'intensité et de la positivité de celle-ci. Cette constatation invite à intégrer alors une mesure de certains signes ambigus et émotionnels pouvant être pertinents. Ebert et al (2013) proposent par exemple une série d'adaptations autonomes sur la base de ce qu'ils nomment les interactions implicites: des réactions du système à des informations non conscientisées par l'utilisateur. Ils listent ainsi certaines données pouvant être recueillies et interprétées :

- Le temps d'attente du regard, d'un toucher ou du curseur de la souris
- Les expressions du visage. Le caractère répété de certaines actions
- La position du corps et l'analyse des gestes (souris, doigts, main...)
- La fréquence des changements d'actions
- Les indicateurs émotionnels et physiologiques (activité cérébrale, galvanique, souffle et battement de cœur...)
- L'analyse de l'expérience au regard des expériences passées

Dans des interactions sociales, ces différentes informations nous renseignent et se combinent pour permettre notre appréciation d'une situation. Elles ne requièrent pas d'explication car elles font partie de ce qu'on juge être notre sens commun.

Dans un contexte d'interaction humain/machine il sera en revanche nécessaire de les traduire et de les expliciter. L'exercice est évidemment périlleux, alors même qu'il nous est impossible de donner avec certitude un sens à de telles informations.

Données contextuelles

À nouveau, l'approche énaactive nous invite à voir toute action comme située. Comprendre l'environnement dans lequel s'inscrit l'expérience est ainsi essentiel (Dourlens 2012).

Celui-ci évolue au cours du temps et peut altérer la manière dont l'utilisateur entre en contact avec l'interface, en jouant sur ses capacités, ses motivations ou sa créativité.

Le contexte d'utilisation peut être divisé en plusieurs catégories :

- Le contexte spatial: Le lieu qui accueille l'expérience est-il propice à l'utilisation? La température, le bruit, la luminosité, ou encore la météo favorisent ou nuisent-ils à l'engagement dans l'expérience? Toute l'informatique embarquée, appliquée à la domotique ou à l'IoT permet aujourd'hui d'intégrer ce type d'informations ambiantes.
- Le contexte social: La présence ou non de tierces personnes est-elle déterminante? Ces personnes encouragent ou bloquent-elles l'utilisateur dans son engagement?
- Le contexte technique: Les conditions sont-elles suffisantes pour une utilisation correcte? La connectivité et l'alimentation électrique sont-elles par exemple suffisantes?

- Le contexte temporel : L'utilisateur a-t-il le temps requis pour s'engager correctement dans l'expérience ? Celle-ci perdure-t-elle au-delà d'une utilisation avec un individu unique ?
- Le contexte de l'activité : L'expérience se vit-elle assise, en marchant, dans les transports ?

L'environnement est donc décisif au bon déroulement de l'expérience. Un langage interactif génératif ne peut être ainsi pertinent et engageant qu'au reflet de la situation dans laquelle il prend forme. L'intelligibilité du message y est induite, l'engagement de l'utilisateur également.

Données du système numérique

Enfin, des données propres au système peuvent être également mesurées, lui permettant d'adapter son fonctionnement avec ses propres contraintes d'utilisation.

Ces données étant davantage liées au fonctionnement technique, nous ne citerons que quelques-unes de ces informations qui peuvent avoir une influence notable sur l'expérience : Le modèle du dispositif, les applications et navigateurs utilisés, la résolution de l'écran, le niveau de batterie, la qualité de la connectivité, etc.

1.4.2 • Que peut-on adapter

Si tous les éléments précédents peuvent permettre une bonne contextualisation des actions de l'utilisateur et influencer sur le bon déroulement et la qualité de son expérience, nous devons maintenant réfléchir aux types de réactions numériques pouvant être formulés par le système numérique (les feedbacks).

Pour cela nous pouvons nous servir du modèle de Marc Hassenzahl sur les produits numériques (2018).

Ce modèle nous permet de penser un produit comme le combiné de quatre caractéristiques flexibles : les contenus, la présentation des informations, les fonctionnalités proposées et les types d'interactions offertes.

De ces quatre caractéristiques découle le caractère de ce produit, défini par Hassenzahl par ses qualités hédoniques et pragmatiques (Fig. 26).

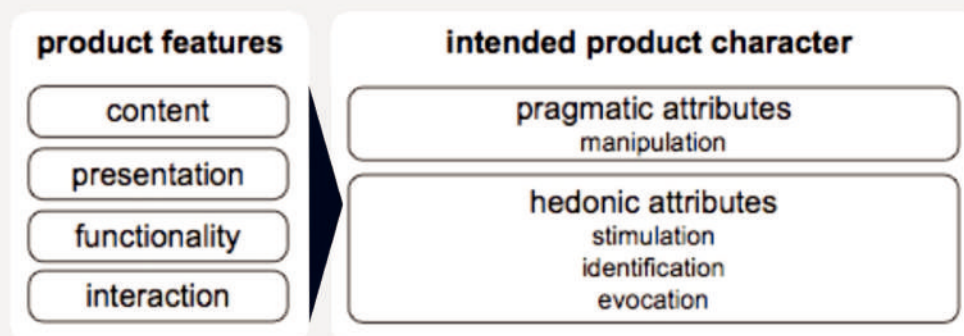


Fig. 26 • Les propriétés et caractères d'un produit numérique (Hassenzahl, 2018)

La qualité pragmatique concerne l'atteinte de buts et l'accomplissement des objectifs, elle est liée à l'usabilité du système et à la confiance que les utilisateurs lui portent.

La qualité hédonique concerne ce qui supporte l'utilisateur dans l'exécution de ces tâches, en jouant sur les dimensions du plaisir, la stimulation des sens ou l'identification de l'utilisateur à l'action.

Chaque produit numérique est ainsi constitué de ces deux types de qualités, équilibrées ou non en fonction du caractère recherché pour le produit.

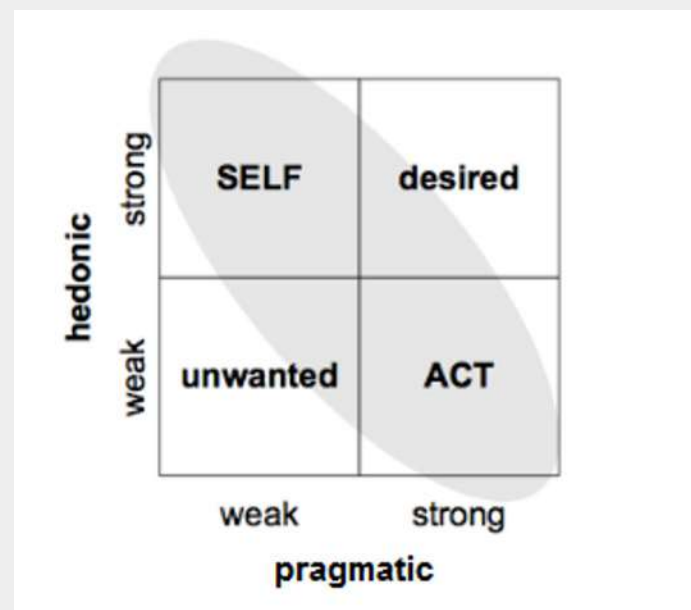


Fig.27 • le type d'expérience, en fonction de sa balance pragmatique / hédonique (Hassenzahl, 2018)

Selon Hassenzahl, toute conception d'expérience devrait idéalement chercher un équilibre entre ces dimensions hédoniques et pragmatiques, pour lier l'efficacité dans la résolution des tâches et la dimension plaisante de l'utilisation.

Certaines expériences en revanche seront naturellement plus portées sur les qualités pragmatiques, c'est le cas des expériences de type ACT. Pour des expériences plus portées sur les qualités hédoniques, on parlera de type SELF (Fig. 27).

On peut donc penser l'ensemble de nos adaptations comme déclinables à travers ces quatre caractéristiques, et développant les qualités pragmatiques et hédoniques, pour influencer respectivement sur la manipulation et le confort de l'utilisateur.

Concernant les dimensions pragmatiques, Jameson (2003) a proposé deux catégories pour penser l'adaptation des fonctions d'un système numérique, distinguant :

- les fonctions facilitant l'usage (prise en charge d'opérations routinières, adaptation de l'interface, conseil d'utilisation, contrôle du dialogue)

- les fonctions aidant à l'acquisition d'information (aide à la recherche, mise en forme de résultats, recommandation de produits, support à la collaboration, support à l'apprentissage). »

Adressant davantage l'aspect hédonique, Hussain et al. (2018) proposent une série d'adaptations destinées aux interfaces mobiles, permettant de favoriser l'attention, améliorer la lisibilité, adapter l'organisation de l'information. Certaines sont rapportées dans le tableau ci-dessous (Fig. 28).

RuleID	Rule name	Descriptions	Event	Condition	Action
R1	Noisy environment	For noisy environment, the UI should be in only-graphical mode	The environment becomes noisy	The graphical and vocal modality used by application for user interaction	The application changes to the only-graphical modality
R2	Light Level	The environment light intensity is high or low, then the application switch to night or day mood accordingly for the greater information accessibility	Based on light sensor lux values	The light level is too low	The user interface changed to a night mood
R3	Color Blind	If the user is colorblind then change the application color to black and white	onRender	The user is a colorblind	Change the foreground color to black and background color to white
R4	Low Vision	If the user has low vision by checking then increases the UI size accordingly	The size of the text of the UI is smaller than 16px	The user has low vision	Increase the size of the text of the UI to 16px
R5	Cognitive	If the user has cognitive problem then simplify the UI	The application contains too many different interaction elements for performing different tasks	the user has a cognitive disability	Split the UI into simplified UI having multi-steps to achieve the desire goal
⋮	⋮		⋮	⋮	⋮
Rn	Mobility	If the user health condition is Parkinson and current context is user is motion, then the UI mode change to multimodal mode	The user begins to move	The user has the Parkinson AND the UI is not of the type of multimodal mode	The UI changed to multimodal mode

Fig. 28 • Une liste partielle de règles d'adaptation à appliquer à une UI en fonction de son contexte d'utilisation (Hussain et al. 2018)

Considérant le contexte plus particulier des NUIs immersives, les données corporelles et biométriques peuvent être intégrées de manière explicite. L'activité cérébrale (EEG), la résistance galvanique (EDG), le souffle ou les battements du cœur (PPG) permettent de donner un niveau supplémentaire de lecture sur l'état d'un utilisateur. À ces données peuvent être formulées des réponses multisensorielles, qu'elles soient visuelles, sonores ou narratives. Kitson et al. proposent une revue d'expériences immersives explorant le principe de biofeedbacks pour la psychologie positive (2018, Fig. 29).

Les modifications d'interface les plus récurrentes dans les études concernent l'apparence et les dynamiques de mouvements des objets, la musique, l'ambiance sonore, les couleurs et l'intensité lumineuse.

Ils précisent que l'impact sur la respiration et l'état de relaxation étaient plus souvent attribués à des adaptations musicales et auditives, tandis que les évolutions de l'engagement et de la concentration étaient plutôt dues aux mouvements des objets (Kitson et al 2018).

Les auteurs concluent en insistant avec enthousiasme sur le potentiel prometteur des environnements immersifs pour le développement des facultés humaines.

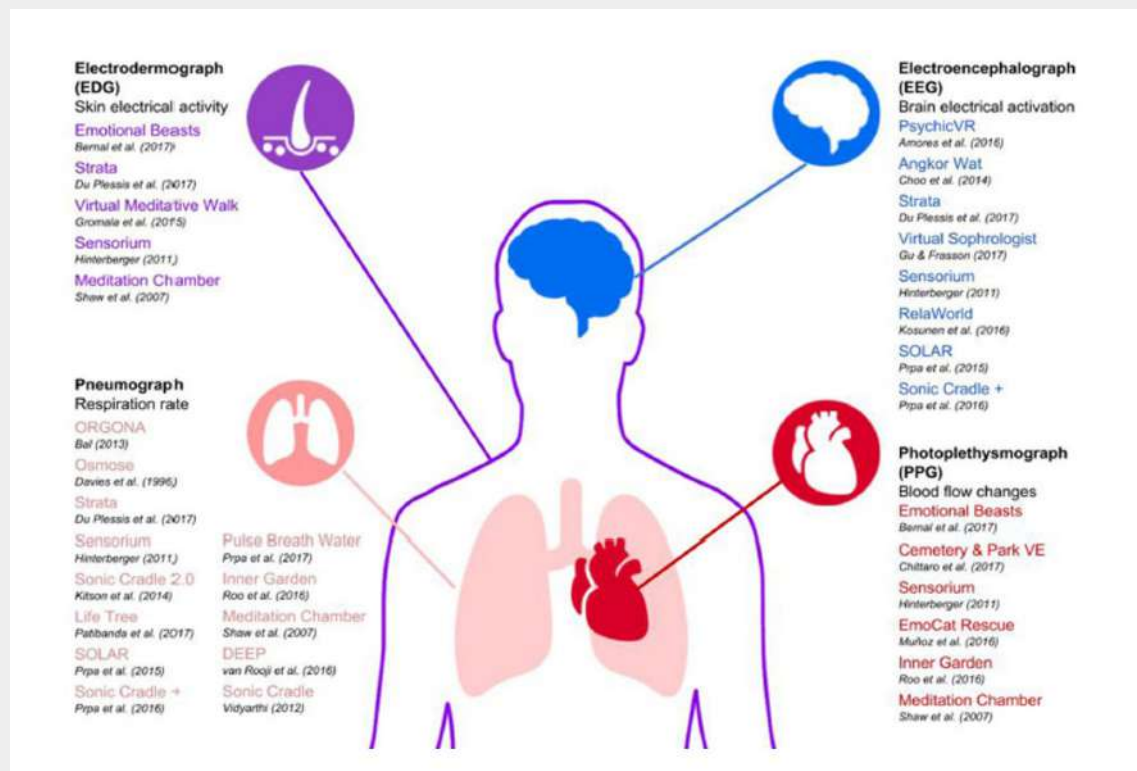


Fig. 29 • Liste d'études associant biofeedbacks et expérience interactive immersive, classées selon le type de signal mesuré (Kitson et al. 2018)

Ciblant à nouveau plus particulièrement les interfaces immersives et la réalité virtuelle, l'apparence corporelle et la présence d'individus similaires ou différents joueront également un rôle clé dans la volonté d'action. On rappellera la possibilité de s'inspirer de l'effet Proteus qui précise que les actions d'un utilisateur seront fortement influencées par les préjugés qu'il portera à l'apparence de l'avatar qu'il occupe (voir section 1-3-2).

On constate à travers ces exemples le caractère non généralisable de ces innombrables liens possibles entre triggers et feedbacks. Les relations potentielles entre informations captées par le système et réponses à apporter à l'utilisateur sont trop nombreuses et doivent être imaginées selon un protocole propre à cette problématique. Nous proposons pour cela de prendre inspiration à travers un contexte d'étude différent, celui des activités d'improvisation créative impliquant plusieurs sujets, au sein desquelles de nombreux mécanismes interadaptatifs sont à l'œuvre.

1.5 • L'improvisation comme modèle d'interaction avec un partenaire numérique

Nous avons vu ici la complexité à vouloir systématiser ce que doit être un langage naturel. La combinatoire entre les différents triggers et feedbacks rendus accessibles par les différents capteurs numériques est au regard de l'enjeu porté par les NUIs trop importante et il nous est nécessaire à ce stade de trouver un angle d'observation du problème qui permette de se concentrer sur ce qui est réellement important dans une interaction en médiation spatiale.

Afin de donner toute son importance au caractère naturel de nos interactions, nous choisissons ici de nous inspirer d'une forme d'interaction qui met justement l'intuition et la créativité au centre, l'improvisation.

L'improvisation fait justement son art de créer du sens à partir de ces boucles sensori-motrices, à travers lesquelles un ensemble de mots et de phrases se composent. Qu'elles soient dansées, parlées, jouées à travers des instruments de musique, ces activités sont profondément ancrées dans l'instant et n'ont nul autre but que le plaisir issu de l'acte en question.

Afin de mieux comprendre en quoi l'improvisation peut être ici une inspiration pertinente, invoquons dans cet état de l'art quelques principes propres à ce champ particulier, lui aussi intégrant recherche en cognition et arts performatifs.

1.5.1 • Co-construction de sens et jeu de l'improvisation

Ajoutons donc à notre lecture cognitive de l'interaction l'idée d'être face à quelqu'un d'autre. Au regard de l'énaction, nous sommes en permanence engagés dans des activités de construction de sens, mais lorsque nous interagissons avec un autre agent social, cette construction devient alors participative (De Jaegher et Di Paolo 2007).

Le sens construit ne dépend plus d'un individu seul et les êtres sociaux évoluent alors au-delà de leurs capacités propres. L'interaction prend forme dans un monde différent, celui résultant de la rencontre avec l'autre agent, où différentes règles, histoires et pensées se rencontrent et se conjuguent (De Jaegher & Di Paolo 2007; Di Paolo et al 2010).

À travers de multiples indices verbaux et non-verbaux, les êtres sociaux se coordonnent dans leurs attitudes, intentions et mouvements. Ils s'anticipent, s'imitent et s'adaptent, s'influençant ainsi en permanence dans l'exécution d'une tâche, dans une conversation ou dans un jeu, et ce, qu'ils le veuillent ou non (Himberg et al., 2018).

Nos interactions sociales sont donc constitutives de la manière dont nous concevons le monde. Elles nous conduisent à des sentiments de compréhension supérieurs et participent à l'enrichissement de nos schémas de pensée. Nous nous sentons exister à travers elles car elles participent à notre sensation d'être présents et co-présents (Froese et al., 2014a, 2014b).

Les activités co-créatives comme l'improvisation collective explorent ces mécaniques pour les seules fins de dérive et de développement personnel (Gerber 2007). L'improvisation se définissant comme une activité consistant à fabriquer ou faire quelque chose de non planifié à l'avance, lorsqu'elle est l'œuvre de deux êtres sociaux, les pratiquants interagissent alors en systèmes couplés, partageant leur agentivité et énantant ensemble un monde singulier. Ces phénomènes conduisent alors à des résultats à chaque fois uniques (Schiavio and De Jaegher 2017).

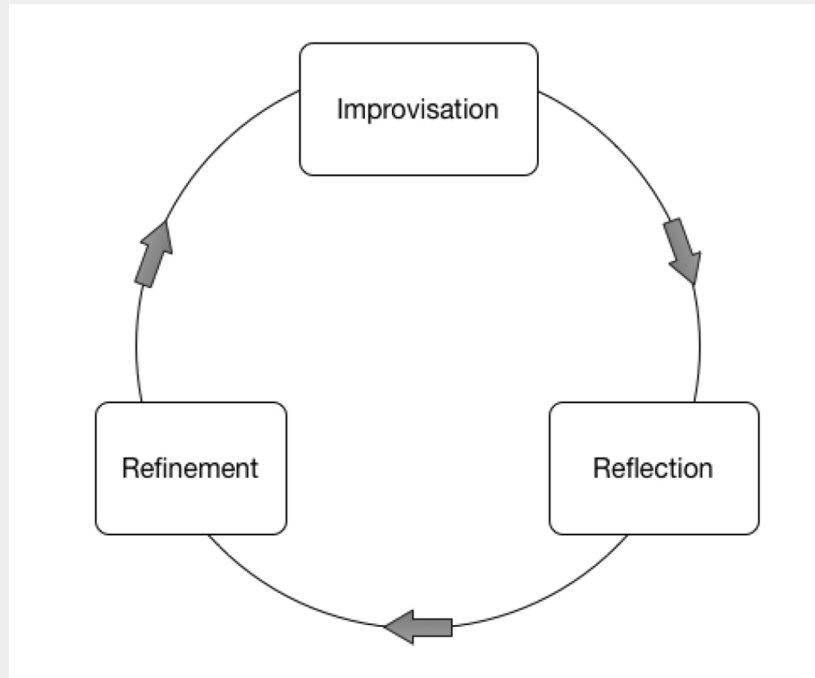


Fig. 30 · L'improvisation vue comme un processus créatif itératif (Gifford et al. 2017)

Cette activité fait justement son art d'être « sur le fil », de laisser s'opérer ce processus d'évaluation constante, de ce qui est produit et des voies nouvelles qui s'ouvrent (Fig. 30). Le déséquilibre y est central et constitutif de la narration, il s'explore et se distord, pour révéler d'infinis possibles (Fig. 31).

Le moment y est récréatif et permet aux joueurs de conforter leurs sens d'autonomie, d'explorer les dimensions et potentiels de leurs corps, notamment ce dont ils sont en capacité et en droit de faire (Di Paolo et al., 2010). Ils s'engagent dans l'activité à leur convenance, en développent les limites à volonté, et peuvent en décider à tout moment la fin.

Puisque les finalités sont secondaires, la peur de l'échec est absente et les joueurs se sentent libres d'incorporer de nouvelles sources d'information et d'expérimenter de nouvelles manières de faire les choses (Gray, 2008). L'erreur est ainsi partie prenante de la nouveauté et du renouvellement de l'activité.

Il en ressort de l'amusement et du plaisir, liés à cette liberté de pouvoir jouer et composer avec leurs propres règles et de pouvoir laisser l'objet cocréé évoluer par l'effet de leurs actions respectives.

Ce jeu créatif, qu'il use d'un médium musical, gestuel, ou vocal, est un produit de nos dynamiques de coordination et d'inter-adaptation, et peut permettre d'atteindre des états de conscience modifiée.

Dans ces états privilégiés, les participants peuvent atteindre des résultats impossibles à envisager seul. Les performances ne peuvent plus y être attribuées à l'une ou l'autre des contributions individuelles, car les participants émergent ensemble en une entité différente, supérieure à la somme de leurs individualités séparées (Bishop, 2018).



Fig. 31 • Une performance de danse contact

Les participants peuvent témoigner de sensations d'unité (*Togetherness*) et de Flow de groupe, conférant à l'instant un statut hors du commun (Bryan-Kinns and Hamilton 2009; Himberg et al. 2018).

Noy et al. proposent de définir les moments d'unité comme des « moments spéciaux, marqués par la dissolution des frontières entre le soi et l'autre, émergeant d'une interaction coordonnée continue entre les individus » (2015).

Dans le cas par exemple de la danse contact¹², l'expérience d'unité se fonde selon Himberg et al. sur la recherche même de l'accord des actions entre elles et dans la rencontre des mouvements (2018).

« Notre compréhension des improvisations collectives de danse, au-delà d'être simplement la somme des individus en mouvement, repose sur une idée similaire à l'esthétique de l'unicité (*togetherness*). Celle-ci n'étant pas une aspiration singulière et individuelle de faire partie d'un groupe, mais plutôt une intention collective de bouger ensemble » (Himberg et al 2018)

De nombreux travaux ont étudié ces phénomènes d'harmonie de groupe, repérant certains éléments décisifs pour leur apparition (Bryan-Kinns and Hamilton 2009; Borderie 2015;

¹² Voir également les travaux d'Emma Bigé, docteure SACRe qui, à travers un rapprochement d'une littérature en philosophie et une étude pratique approfondie de la danse contact, explore comment les êtres peuvent être amenés à vouloir partager leurs gestes et à danser finalement ensemble (2017).

Gifford et al. 2017). Les auteurs mettent en relief un besoin de confiance entre les participants au regard des tâches qu'ils se partagent, ainsi qu'un besoin de retours immédiats de leur influence sur le produit et sur le partenaire. Chacun doit être force de proposition et d'originalité, pour repousser les limites du terrain de jeu et s'aventurer au-delà de sa propre zone de confort. L'intérêt mutuel dans l'expérience reposera alors sur l'équilibre entre le contrôle que chacun aura sur l'objet co-produit et les nouveautés que le partenaire pourra y apporter.

L'engagement volontaire dans l'activité d'improvisation résulte ainsi d'une succession de tensions et de résolutions, causées par les nombreuses micro-négociations passées entre les pratiquants.

Ces instants de suspension sont les clés de voûte de leur dialogue, et la condition du maintien de leur intérêt dans l'échange.

Tseng et al. (2021) étudient cette suspension à travers l'improvisation dansée et le concept esthétique japonais du *Ma* signifiant littéralement l'« entre-deux ». Ils la présentent comme un élément décisif de l'apparition de sensation d'unité.

« Ma n'est pas seulement le temps d'attente, mais aussi le temps de préparation pour l'action. C'est le moment où j'inspire, avant d'expirer et de m'engager dans l'action. » (Tseng et al., 2021)

Les auteurs proposent de lier le Ma à l'idée de pré-accélération d'Erin Manning (2009), selon laquelle un mouvement est également présent dans l'absence de mouvement qui le précède :

« Le concept de pré-accélération est une manière de penser la naissance du mouvement, selon lesquels le mouvement est toujours au bord de l'expression. » (Manning, 2009)

Ils voient une corrélation entre le Ma et la sensation d'unité qui peut survenir au cours d'une improvisation.

« Lorsque nous sentons qu'un « autre » entre en anticipation avec nous de cette pré-accélération de l'événement (un moment de Ma partagé), le sentiment d'unité émerge. »

Penser ainsi l'engagement dans l'interaction comme le résultat d'une alternance de tensions et de résolutions rappelle l'aspect oscillant de la courbe de Flow (Fig. 2), mais invite également à s'intéresser particulièrement à ses extrema.

Plutôt que de rechercher l'accord à travers une modélisation linéaire, comme le préconise le Flow, ces travaux sur l'improvisation nous invitent également à nous attarder sur les phases de basculements, de respiration, ou d'accélération qui bornent ces moments de tensions. La résolution suivant une intense phase de déséquilibre pourra alors n'être supposée que plus forte.

Penser la conception d'interfaces numériques à travers le prisme de l'improvisation est assurément un sujet qui passionne et qui s'enrichit à mesure que les technologies de reconnaissance et d'interprétation des intentions se perfectionnent (Davis et al 2015, Gifford et al 2017, Magerko & Long, 2020, McCormack et al 2020). Envisager une expérience numérique qui arriverait par sa simple interaction à maintenir un plaisir

intrinsèque chez son utilisateur trouverait assurément un intérêt dans le vaste champ de la recherche en interaction humain/machine, tant pour des produits esthétiques que purement fonctionnels.

Envisager la machine comme un partenaire d'improvisation avec lequel il est possible de déployer une relation sociale, nous amène à devoir repréciser nos précédentes questions.

Comment les sentiments d'unité survenant dans une improvisation partagée peuvent nous permettre de repenser la conception d'interfaces naturelles adaptatives ? Comment mettre en jeu de telles formes d'inter-adaptations dynamiques, à travers quel type de langage interactif et sur quelle base de sens commun ?

Prenons un temps pour redéfinir à présent notre problématique contextualisée à ces dernières inspirations.

1.5.2 • Redéfinition de la problématique

Reprenons les points précédents.

Les potentiels interactifs des NUIs invitent à concevoir de nouvelles formes de parcours utilisateur, où le rapport avec la machine devient social, sensible, improvisé. En empruntant certaines références aux mondes du design numérique, de la science cognitive et de l'improvisation, nous avons pu dessiner plusieurs pistes pour centrer la réflexion sur l'engagement et la mise en mouvement.

Les NUIs pouvant altérer la manière dont se comportent les données - en les spatialisant ou en les dotant de comportements organiques - et pouvant également jouer sur la perception et la spécification de soi en immersion, on peut développer des rapports impliquant d'autres types de mécanismes cognitifs.

En plaçant un utilisateur face à un « autre », défini par des traits semblables ou par un partage du contrôle sur l'expérience, on peut l'amener à user de mécanismes de mimétisme et de coordination.

S'il est correctement calibré, ce sentiment d'altérité peut faire apparaître des états de conscience modifiée et d'expérience optimale, similaires à ceux observables dans les activités d'improvisation collective, comme les phénomènes de Flow de groupe.

Évidemment, à la différence d'une activité d'improvisation entre deux individus, la machine reste un outil au service de son utilisateur. Ces mécanismes de mimétisme et d'adaptation sociale n'ont d'intérêt que pour guider, orienter, et apprendre à l'être humain dans un système où les raisonnements peuvent être complexes, inédits, inconnus.

Simuler l'altérité peut néanmoins offrir de nouveaux types de parcours, celle-ci pouvant en effet s'esquisser par de multiples contours. À l'aune des NUIs, où l'espace et le corps sont des notions hybrides et fluctuantes, comment et jusqu'où peut se créer cette forme d'empathie ?

Peut-on penser une interaction improvisée avec l'immatériel, le non-anthropomorphe, l'abstrait et le spatialisé ?

La qualité des expériences numériques peut être mesurée par le degré d'engagement des utilisateurs, et par la motivation qu'ils développent à en explorer les contours et limites, comprendre comment les dimensions intrinsèques des NUIs peuvent être développées semble intéressant à plus d'un titre.

Nous entrevoyons ici que c'est par l'exploration de ce rapport d'altérité, où l'individu et la machine échangent et s'inter-influencent, qu'on pourra trouver de nouvelles formes de parcours engageant, dont les applications pourront à la fois se trouver dans des contextes ludiques, créatifs, ou professionnels.

1.5.3 • Propositions expérimentales

Nous proposons donc dans le prochain chapitre d'explorer la relation avec le numérique à travers une approche expérimentale centrée sur ces trois idées :

Multimodalité / Friction / Altérité

Cette approche sera découpée en trois phases¹³.

Une grammaire commune entre danse et design industriel

Face à la multiplicité des langages et des prismes de pensée que le cadre de cette thèse CIFRE occasionne, nous présentons dans un premier temps une phase d'inclusion de ces différents partenaires dans la constitution d'une grammaire commune.

En se centrant d'un côté sur les mécaniques sociales influant sur la créativité gestuelle, nous rendons compte d'une série d'interviews faites auprès de danseurs et chorégraphes, les invitant à verbaliser les éléments clés de leurs propres expériences à travers une approche inspirée de la phénoménologie et de la théorisation ancrée. Nous y questionnons leurs stratégies de mise en mouvement, la générativité du langage dansé, le rapport au corps et à celui du partenaire, ainsi que les différents éléments pouvant favoriser ou bloquer le déploiement de l'improvisation.

Incluant d'un autre côté des designers et experts du développement d'interfaces, nous parcourons la question du design adaptatif en contexte industriel à travers une série d'ateliers de sensibilisation et de co-créativité créés pour l'occasion. En prenant appui sur la littérature en design d'expérience, nous tentons de contourner les idées de plasticité et d'évolutivité des expériences numériques, identifiant avec eux les principales contraintes.

De cette première immersion exploratoire, nous cherchons à faire ressortir des éléments communs à ces deux environnements, et recontextualisons notre questionnement avec cette grammaire adéquate.

Penser l'adaptativité en design industriel et création d'une base de sens commune

Face à la complexité induite précédemment par la question du design adaptatif, nous proposons dans cette seconde partie la présentation de deux outils d'idéation, conçus au sein de l'agence EMOTIC et testés au sein de son propre écosystème.

Ces outils tentent de sensibiliser les participants d'ateliers de design thinking à l'importante combinatoire d'entrées/sorties que les interfaces numériques peuvent offrir, puis de les inviter à imaginer progressivement des fonctionnalités adaptatives en phase avec un contexte expérientiel et à des utilisateurs donnés.

Les livrables développés ici ont des destinées à la fois pédagogiques et pratiques, cherchant à fournir d'une part les bagages théoriques nécessaires à la compréhension du problème,

¹³ Certains travaux auront été conduits en simultané mais cette lecture sera néanmoins pensée pour en faciliter le récit.

et d'autre part les outils de conception permettant de parvenir rapidement à imaginer de nouvelles fonctionnalités, destinés à l'amélioration de produits numériques existants ou au développement de nouveaux prototypes.

Nous y proposons enfin plusieurs retours d'expériences des phases de test de ces outils, agrémentés de retours quantitatifs et qualitatifs faits par les participants à l'issue des ateliers.

Observer la genèse d'un langage interactif improvisé

Nous concentrant davantage sur les dynamiques de co-construction du langage et sur ces idées d'altérité et de contrôle partagé, nous revenons dans cette troisième partie sur les différentes phases du projet Articulations, une rencontre transdisciplinaire entre cognitiens, designers, artistes et sociologues autour de la genèse du geste dansé.

Jouant de la représentation des corps grâce à la réalité virtuelle, nous y amenons des participants à s'immerger ensemble dans des environnements minimalistes, pour y façonner un langage gestuel dépourvu des biais naturels du non verbal. À l'aide du simple mouvement dans l'espace, ils sont ainsi laissés à eux-mêmes, implicitement poussés à réagir au mouvement du partenaire, et à comprendre leur propre influence sur lui. Ils se laissent alors dériver dans cette improvisation « diminuée » au cours de laquelle certains semblent finalement voir leur créativité exacerbée.

Analysant les nombreuses données recueillies au cours de différentes phases expérimentales nous faisons ressortir certains éléments clés de l'expérience, traitant des sensations, du rapport à l'environnement, ou des différentes étapes des relations vécues par les participants. Nous en proposons en conclusion un cadre conceptuel, la « réalité diminuée partagée », qui vient alimenter notre réflexion sur la générativité du langage interactif en contexte immersif.

Les observations issues de ces trois phases expérimentales nous inviteront à voir le langage naturel dans les NUIs comme profondément interrelationnel et multi-niveaux. Nous y verrons que l'identité perçue est intimement liée à la narration et que notre cadre conceptuel permet d'envisager de nouvelles formes de relations avec le numérique, où l'atteinte de formes de Flow de groupe ou de Togetherness semble possible.

Est-ce simplement aux NUIs de s'adapter aux modalités interactives humaines, ou bien peut-on espérer trouver de nouvelles clés dans cette sorte d'entre-deux hybride, où humain et machine trouvent un autre espace de jeu ?

Cette question trouvera un écho particulier tout au long du prochain chapitre.

1.5.4 • Un écosystème propice à une recherche par la pratique en design

Comme énoncé précédemment, le terme de recherche est depuis plusieurs décennies entièrement intégré dans le langage artistique. Les chercheurs en art et en design ont dans toute l'histoire de la recherche en interaction apporté des contributions significatives rendues possibles justement par leurs approches singulières. Plus que des propositions c'est parfois par ce seul engagement dédié à la construction ce qui semble « juste » que des avancées significatives peuvent être atteintes (Archer, 1995).

Dans cette directe lignée, l'écosystème particulier qui base cette recherche est particulièrement favorable à une recherche par la pratique en design, voyant se rencontrer le laboratoire SACRe - un programme porté par l'Université PSL (Paris Sciences & Lettres) réunissant six

différentes écoles de Paris¹⁴ - et l'entreprise EMOTIC, spécialiste depuis plus de dix ans de la transformation digitale des entreprises, proposant le design, le développement et le déploiement de produits numériques innovants et sur-mesure. Cet échange, rendu possible via le dispositif CIFRE¹⁵, permet ainsi à un doctorant d'évoluer au sein d'un environnement pluridisciplinaire et d'enrichir sa recherche de cette pluralité de langages et d'ambitions.

Nous souhaitons ici explorer de possibles futurs, impliquant nécessairement une approche qui se doit d'être itérative et ancrée. Pour mieux comprendre ce qui dans le cadre de cette thèse semble nécessaire et atteignable, cette approche rencontrera diverses séquences segmentées entre étude, pratique et exploration, en lien avec le triangle de la recherche en design d'interaction de Fallman (2008). Nous animerons ainsi un dialogue étroit, amenant les différents acteurs concernés par ces enjeux à y contribuer directement, qu'ils soient issus des mondes de la recherche en cognition, des arts, ou bien tournés vers une applicabilité directe comme dans le monde industriel.

C'est par l'exploration de leurs différentes perspectives mais aussi par une mise en évidence des tensions qui les distinguent que cette recherche en design d'interaction peut apparaître innovante et unique (Fallman, 2008).

La construction de savoir en recherche sur l'interaction peut prendre de nombreuses formes, et dans notre cas verra émerger des contributions issues de processus expérimentaux, mais aussi des nouveaux outils méthodologiques et le développement d'expériences esthétiques et interactives. L'ensemble de ces objets permettront in fine de raffiner notre problématique et d'en développer des conclusions à destination des designers.

L'affirmation de cet ancrage transdisciplinaire et de cette recherche par la pratique en design d'interactions sera donc résolument déterminante quant aux résultats proposés en fin de ce manuscrit.

¹⁴ L'ENSAD, la Fémis, le CNSAD, le CNSMDP, les Beaux-Arts de Paris et l'ENS

¹⁵ Convention Industrielle de Formation par la Recherche

Geste improvisé et interfaces naturelles

**Vers de nouveaux fondamentaux
pour le design d'expériences optimales
en médiations immersives**

2.

**Expérimentations •
Vers une traduction du geste
dans les expériences
numériques**

2.1 • Regrouper différents cadres de recherche

2.1.1 • Les différents langages de l'interaction

Face à l'évidence explicitée précédemment du manque d'outils pour penser le design plastique et adaptatif, et cherchant à développer notre objet d'étude à travers le prisme commun du design d'expérience et de la phénoménologie de l'improvisation, il nous est nécessaire d'identifier dans un premier temps un champ lexical commun.

La courte phase exploratoire qui suit constitue une première immersion autour de la question du sens commun en langage naturel, en l'abordant d'une part à travers le vocabulaire sensible du langage corporel et d'autres à travers celui de l'interaction humain/machine. Nous mettons à profit ici la richesse des écosystèmes encadrant cette thèse pour inclure des experts de ces différentes pratiques dans la réflexion.

À travers une série d'interviews, j'invite des professionnels de l'improvisation à exprimer ce qui va être décisif chez eux dans la construction d'une improvisation partagée.

Qu'ils soient danseurs, chorégraphes, chercheurs ou professeurs de danse, les participants nous y livrent un rapport intime au corps, à la rencontre et à l'échange relationnel, mais aussi aux inspirations, aux sensations, à l'engagement, au temps et à l'espace.

Mon but est ici pluriel, je veux confronter mon intuition initiale et ma propre pratique de l'improvisation avec les approches très personnelles et sensibles de ces différentes personnes, pour élargir au maximum le regard porté sur cette pratique. Enfin j'essaie d'y isoler quelques motifs récurrents pour les confronter ensuite avec le monde du design d'interface numérique.

À travers cette fois un processus d'atelier d'idéation, nous abordons en compagnie des experts de l'agence EMOTIC la question de la construction de sens dans l'interaction humain/machine. Nous y usons pour cela du terme d'interface adaptative pour définir l'ensemble des fonctionnalités qui peuvent proposer une réponse sensorielle à une information captée par le système numérique.

Cet atelier s'inscrit dans un processus plus global qui vise à inclure l'ensemble des collaborateurs d'EMOTIC dans une démarche de recherche, qu'elle soit personnelle ou appliquée. Cette démarche me donne à la fois l'occasion de faire transiter des questions de recherche en design au sein de l'agence tout en jugeant l'écho qu'elles trouvent auprès d'elle. Plus qu'une recherche approfondie, nous abordons ensemble cette question complexe de l'adaptativité à travers plusieurs exercices créatifs, et en isolons quelques principes centraux, de nombreuses intrigues ainsi que quelques scepticismes.

Nous verrons en fin de chapitre comment ces deux environnements trouvent par leur rencontre des éléments communs, unifiant danse et design numérique d'une manière singulière.

2.1.2 • Construire du sens en improvisation

Les quelques échanges et dialogues dont je rends compte ici, ont été menés durant les premiers mois de cette recherche avec des spécialistes de l'improvisation dansée, qu'ils soient issus de mon réseau proche ou du large écosystème du laboratoire SACRe.

En complément des écrits sur l'improvisation présentés précédemment, cette partie se destine à identifier un certain nombre de mécaniques singulières propres à l'engagement créatif. Lors de chaque rencontre, j'essaie dans un premier temps d'amener l'interviewé à aborder la question de la danse sous un angle général, puis à détailler progressivement l'expérience selon ses propres mots et sensations.

Cette approche s'inspire des sciences sociales et de l'approche phénoménologique, et j'estime qu'elle peut amener un point de vue intéressant, différent de l'approche théorique cognitive précédente.

Au total, sept interviews semi-structurées ont été menées avec deux hommes et cinq femmes, d'âge moyen de 36 ans ($\sigma = 10.07$), provenant de milieux socio-culturels divers, originaires d'Amérique du Sud et d'Europe occidentale, et ayant pour certains travaillé l'improvisation dans le monde entier.

La grande majorité d'entre eux consacre aujourd'hui leur vie à la danse et l'improvisation, que ce soit en tant que professeur, ou que danseur indépendant, et ce depuis plusieurs années.

Ces interviews se sont déroulées en personne ou au téléphone, dans divers lieux à Nantes et à Paris, et duraient généralement entre 45 minutes et 1 heure 30.

L'ensemble des citations qui en sont tirées peuvent être retrouvées en Annexe II de ce manuscrit, j'en propose ici une sélection ayant trait spécifiquement à la construction de sens dans l'improvisation partagée.

La mise en mouvement

Dans une première phase, je questionne généralement les participants sur les éléments qui vont les mettre en mouvement et initier l'acte de danse, qu'ils soient seuls ou non. Les idées primordiales qui semblent en ressortir sont celles de la disponibilité et de l'instantanéité. S'engager dans la danse sans entrave et de manière immédiate apparaît comme un pré-requis fondamental.

« J'improvise parfois sans l'avoir décidé à l'avance, toute seule chez moi »

« Je danse seule parfois pour relâcher la pression »

« Une musique passe, ça m'inspire et me met en mouvement »

« J'ai besoin d'un point de départ, ça peut être une émotion, de l'excitation, une envie d'extérioriser, d'évacuer »

« Je pars d'une image fixe, qui passe, de la matière du béton, de tout l'environnement »

« J'aime travailler dans les bois, avec des cours d'eau »

« Je note ce qu'il se passe autour, je peux m'en servir mais tout vient de l'intérieur. »

Nous voyons déjà que cette intention peut provenir de sensations internes, ou d'un élément perçu de l'environnement, qu'il soit visuel, auditif, imaginaire.

Les participants expriment généralement leur besoin de conditionnement, comme une sorte de préparation mentale permettant l'écoute de soi et de l'extérieur.

« La plus grande chose qu'on puisse se donner pour improviser c'est le silence intérieur et l'écoute, faire le vide »

« Pour ça on a besoin de lâcher prise, mettre la tête de côté pour s'abandonner à soi-même, certains réussissent d'autres pas »

« L'espace de la danse doit permettre d'enlever ce personnage social, ces relations de pouvoir »

« La relation de danse c'est le projet qu'il n'y ait rien d'autre »

Pour cela, pas besoin de conditions précises ou d'informations complexes, le dénuement semble au contraire plus à même d'engager dans une activité d'improvisation :

« Plus le matériau est simple plus ça garde mon attention »

« Un mouvement très simple peut se transformer en un monde, partir de quelque chose que les gens connaissent très bien »

« On pourra trouver un infini à partir de conditions initiales minimalistes »

Le tout est de laisser l'activité se déployer par elle-même.

« Il faut se laisser partir à la dérive, se mettre dans une posture dans laquelle on est à l'aise, et voir quel mouvement naturel se met en place, qu'est-ce qui va se déployer »

« C'est comme la musique, deux notes en appellent une 3e ou un rythme. Il faut être à l'écoute de cet appel »

« On doit oser aller là où on ne contrôle plus, c'est ton corps qui danse et non ta tête, il faut laisser s'impliquer le mouvement intuitif »

Une dérive conjointe

La relation avec l'autre permettra d'apporter un niveau de complexité supplémentaire, ce qui va rendre l'activité plus curieuse, challengeante, et permettra de se surprendre soi-même plus facilement.

« Quand tu es avec d'autres, l'environnement change tout le temps, l'imprévu est plus présent »

« Je vais chercher à mettre la personne en confiance, on peut dans un premier temps interagir en miroir [...] Si je la connais je vais être plus rentre-dedans »

« La confiance qu'il me porte se voit au regard, dans les appuis, l'ancrage, la vitesse »

« Quand vous faites de l'impro vous êtes un DJ, vous bougez les curseurs [...] On peut trouver un équilibre dans le contrepoids entre les paramètres de l'un et de l'autre »

« La poésie vient du décalage progressif du geste [...] Tu peux proposer un geste qui a un reflet particulier pour toi et l'autre s'en empare en modifiant un paramètre, il se crée une poésie »

La relation va favoriser le maintien de l'engagement dans l'activité grâce à la mise en place de cette dérive conjointe et à la co-construction d'une histoire spécifique.

Une fois la rencontre établie, l'histoire va se raconter par la rencontre des gestes, par les décisions de l'un ou de l'autre de s'en emparer et de les réutiliser à sa manière. Les participants ne devront pas chercher à s'accorder plus que nécessaire, au risque d'appauvrir la relation.

« Mon approche est de dire « laisser la rencontre se faire ». Peut-être qu'il n'y aura jamais de rencontre mais ce sera peut-être aussi tellement beau de voir une magnifique relation »

« Je n'ai pas à jouer à chercher du lien là où il n'y en a pas. Plus je retarde ce moment là, plus ce qu'il va se passer sera riche. Plus ce sera une source de tension et de suspense. »

« L'improvisation c'est aussi le choix de réagir ou non à quelque chose qui arrive »

« Trouver un accord c'est souvent affaiblir la relation. Le point d'accord va être une décision mentale, dictée par une idée de ce que doit être la rencontre, alors qu'en jouant sur d'infinis désaccords, de dissonances, de contrastes, alors elle sera mouvante et mobile. »

Tout le plaisir de l'improvisation vient donc selon nos sujets de cette observation de l'influence que nos gestes ont sur l'expérience partagée, de voir comment ils nous reviennent, modifiés, altérés, et de comment ce changement progressif nous surprend et nous amène à innover.

La construction de sens dans l'improvisation dansée n'apparaît donc pas comme une affaire d'images et symboles explicites, car chacun viendra construire les bases de l'échange dans son propre registre poétique. La poésie qui se crée, et le souhait de s'engager de manière créative dans l'interaction est davantage impliqué par la satisfaction de voir évoluer cette forme commune, faite de dynamiques, de jeux d'espace, où chacun s'y retrouve et influence son évolution. Le sens perçu semble donc propre à chacun, mais l'acte d'improvisation semble mettre en mouvement grâce à la poursuite de ce déséquilibre permanent.

2.1.3 · Un atelier de design ancré pour penser l'adaptativité humain/machine

Programme d'idéation Emosearch

Cette seconde phase de recherche se déroule dans le contexte industriel qui m'accueille. Rejoignant EMOTIC en 2019, la direction de l'agence et moi-même discutons à de multiples reprises de la meilleure manière d'intégrer la R&D (recherche et développement) dans son activité quotidienne.

Pourvu d'une grande liberté d'action et de suggestion, j'y réalise dans un premier temps une série de présentations spécialisées destinées à sensibiliser les collaborateurs à des sujets indirectement liés à leurs métiers (entre autres les sujets ayant trait à l'immersion, les interfaces naturelles, le *machine learning*).

Nous convenons qu'un format collaboratif et inclusif est nécessaire, pour que ces derniers s'emparent littéralement de ces questions et s'inscrivent eux-mêmes dans l'activité de recherche intrapreneuriale.

Un programme d'innovation nommé Emosearch voit le jour quelques mois après mon arrivée et se poursuivra jusqu'à mon départ. Développé pour l'occasion, ce programme intègre théorie et pratique, centrées sur les divers sujets gravitant autour de cette thèse. L'idée est d'infuser auprès des collaborateurs des questions ayant trait à l'innovation, en leur permettant, via toutes sortes d'outils de créativité, de développer ces curiosités de manière personnelle et ludique.

Ces ateliers ont également pour but de constituer des synergies innovantes et inédites entre eux, de sortir des sentiers battus et de se donner un cadre commun de réflexion en vue de développer idéalement de nouveaux savoir-faire.

Ces ateliers reposent sur quelques règles simples :

- Tous les collaborateurs peuvent participer à ces ateliers, sur une base participative et non obligatoire. Tous les postes et toutes les spécialités sont les bienvenus, ma présence et celle d'un spécialiste de *design thinking* sont néanmoins requises pour cadrer le temps alloué.
- Des restitutions doivent être faites en fin de chaque atelier, pour faire profiter à l'ensemble des membres d'EMOTIC des résultats obtenus. Le format de ces restitutions est libre et déterminé au cours de l'atelier, en fonction des avancées et des possibilités envisagées par le groupe.
- Les sujets proposés peuvent être à l'initiative de tous, puis, faisant l'objet d'un vote, ceux ayant le plus de succès sont retenus.
- Le temps mis en place pour mener à bien l'atelier est de quatre fois deux heures, réparties sur le temps de travail.

Les sujets retenus concerneront finalement l'internet des objets, l'art numérique interactif, la cognition de l'engagement, le *machine learning* et les expériences adaptatives. Le retour d'expérience qui suit est le résultat d'une de ces sessions créatives qui a eu lieu en juillet 2019, centrée sur cette dernière thématique.

Emosearch - Expérience adaptative

Plutôt qu'avoir recours au vocabulaire enactif de la construction de sens, je propose aux participants le terme d'adaptativité, car il est davantage utilisé dans le domaine industriel et trouve chez eux un meilleur écho.

L'idée d'adaptativité est volontairement prise au sens large. Ne cherchant pas ici à restreindre la question ou à trop biaiser la réflexion, elle regroupe dans notre cas toute forme de prise d'autonomie d'un produit numérique, pouvant l'amener à réagir à des événements autres qu'un ordre explicite de l'utilisateur. Cette forme d'autonomie est supposée capable d'améliorer la qualité d'expérience en encourageant l'action, en guidant les utilisateurs ou en alimentant l'intrigue d'une manière personnalisée.

La diversité des boucles action/perception et leur impact sur l'engagement constituent le cœur de notre exploration.

Encadrant cet atelier en compagnie de Baptiste Rongier, lead designer chez EMOTIC, nous accueillons Corentin, Antoine et Thibault, tous trois développeurs au sein de l'agence. Tous se sont inscrits sur cette thématique par choix et intérêt.

Je propose comme à chaque début d'atelier un tour d'horizon du sujet traité, qui permet de générer de nouvelles questions et d'intégrer chacun dans la réflexion sur une base commune. Avec Baptiste, nous proposons ensuite aux participants un échauffement consistant à imaginer comment des objets du quotidien pourraient s'adapter dynamiquement au cours de leur utilisation.

Nos participants appliquent cet exercice à une corde à sauter, une baguette de batterie et un réveil. Ils y proposent des variations de la taille des objets, des activations adaptées au contexte spatio-temporel ou une mesure des performances. Ce premier exercice dure quelques minutes.

Après l'échauffement, je présente davantage le sujet en donnant quelques clés théoriques. Nous voyons ici des exemples à travers les technologies de domotique, les *designs responsive* ou l'apprentissage adaptatif (*adaptive learning*). Nous y discutons également de concepts tirés de la littérature en psychologie, comme les courbes de Flow appliquées au game design ou aux interfaces de coaching personnalisé.

Nous passons ensuite à un brainstorming, adressant les différentes fonctions et usages pouvant bénéficier d'une adaptativité (Fig. 32).





Fig. 32 · Quelques photos des premières phases d'idéation de l'atelier

De nombreuses idées sont données que nous regroupons en différentes thématiques.

Parmi les fonctions qui nous semblent les plus pertinentes nous retrouvons :

- L'idée d'un produit numérique ludique qui aiderait un utilisateur à rester focalisé sur ses objectifs personnels, qu'ils soient sportifs, professionnels et organisationnels, voire à se dépasser à travers des encouragements personnalisés et réguliers.
- Adapter les conditions d'utilisation, pour améliorer le confort et les capacités d'attention lors d'une activité tierce. Cette forme d'adaptativité adresse des paramètres ambiants comme la luminosité, l'environnement sonore, mais aussi des paramètres d'utilisabilité comme l'organisation de l'information, les contrastes, les couleurs choisies etc.
- Adapter des contenus en fonction de nos activités du quotidien, durant nos déplacements et selon nos centres d'intérêt. Ce type de produit nous connecte au monde environnant et l'augmente en fonction de nos envies et disponibilités du moment.

Dans une deuxième étape, nous resserrons le cadre sur des expériences sans écrans, ne ciblant que les langages interactifs multisensoriels.

Nous basant sur les idées exprimées précédemment, nous listons à nouveau de multiples idées (Fig. 33).

Assistant sportif qui monitore ton travail physique par rapport à tes capacités/objectifs, qui joue sur le plan moral



- environnement
- lumières, flash
- débloquer des niveaux de couleurs
- décor s'adapte
- gamification
- se synchronise avec la lumière



- veste connectée qui s'adapte à la température



- encouragement
- musique en synchronisation avec la foulée
- exercices de respirations alternative
- musique qui ne te plaît pas lorsqu'on ne court pas assez vite
- musique entraînante quand on fatigue
- musique adapté au parcours / contexte



- masquer son odeur pour ne pas être gêné
- odeur stimulante quand on fatigue
- odeur qui se libère quand tu la frotte



- particule de sucre piquant qui se débloquent
- gamification

Assistant qui propose de découvrir de nouvelles choses



- fréquence et goût musicaux
- réveil / sonnerie / design sonore différent chaque matin en fonction des propositions
- extrait audio pour t'inviter à écouter de nouveaux genres
- morceau ou son adapté à un événement de la journée (rdv stressant, motivant...)



- proposition de mélanges d'épices approprié à ton plat
- mariages boisson / nourriture

Fig. 33 • Liste de fonctionnalités pouvant cibler les 5 sens

L'exercice nous conduit finalement à centrer notre réflexion sur le sens olfactif, qui est alors un sujet stratégique chez EMOTIC. Nous explorons donc les contours de ce que pourrait être un assistant personnalisé opérant uniquement sur le langage des odeurs et des parfums. Des utilisations à des fins de confort ou pour favoriser l'attention sont discutées, ainsi que des expériences pouvant augmenter la qualité d'une communication ou d'autres activités du quotidien (Fig. 34).

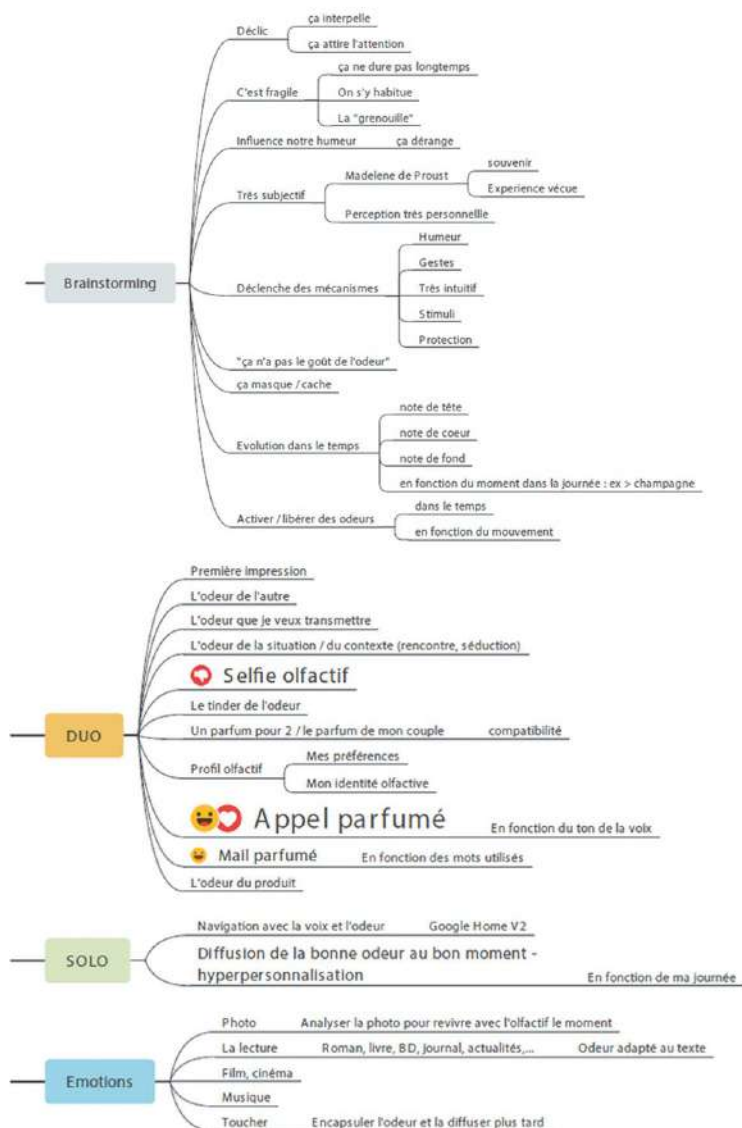


Fig. 34 • Différentes fonctionnalités olfactives, qu'elles soient destinées à des expériences solitaires ou sociales

La restitution proposée en fin d'atelier fut celle d'un scénario illustré, présentant plusieurs étapes d'une journée, dans lesquelles un assistant olfactif offre une adaptation contextuelle aux différents types d'activités rencontrées, et une valeur ajoutée à certains moments vécus (Fig. 35).



Expérience Adaptative

Dans la peau d'Amélie...

19h00

Amélie est en brainstorming

La salle a été réservée pour un atelier de créativité. L'odeur de menthe poivrée est réputée pour stimuler la production d'idées, un diffuseur placé dans la pièce s'active régulièrement au cours de la session.



Expérience Adaptative

Dans la peau d'Amélie...

19h00

Activité culturelle - Concert de musique classique avec Coco

Le concert intègre un système innovant créé par IFF pour intégrer une expérience olfactive pour la lier à l'écoute de la musique.

Cette dimension permet de transporter en plus les spectateurs dans l'univers musical.

Fig. 35 • Deux phases du scénario proposé en restitution de l'atelier, où des moments de la journée sont augmentés par un dispositif olfactif

Ici en haut, l'utilisateur est dans un atelier créativité, l'assistant numérique choisit une diffusion d'essence de menthe poivrée qui est réputée favoriser l'attention et la concentration. En bas, un concert musical est augmenté de diffusions de parfum, chargées d'accentuer et magnifier certaines parties du concert.

Limités par l'approche centrée multisensorialité et par le format court de ce type d'atelier, nous n'avons pu qu'entrevoir la grande diversité des comportements adaptatifs possibles. Les potentielles associations entre données captées et réactions de l'interface sont vastes, comme nous avons pu l'explorer plus tôt dans notre état de l'art. Pourtant, certaines d'entre elles peuvent grandement participer à l'amélioration générale de l'expérience, en modulant l'environnement pour qu'il devienne plus propice à la créativité, en accompagnant au cours du temps un utilisateur dans une utilisation prolongée, ou encore en adaptant les propriétés générales d'utilisabilité du système.

Le sens à donner à l'information captée, et la réponse à y apporter apparaissent fortement dépendants des variables en jeu. Le contexte, l'utilisateur et le système sont déterminants et tous les cas de figure pouvant apparaître au cours de l'interaction nécessitent d'être considérés et explicités en amont, invitant à l'hyper-personnalisation de l'expérience.

En conclusion de cet atelier, nous avons pu éclaircir la complexité de cette question de l'adaptation, préconisant davantage des études au cas par cas, et le développement pour cela d'outils propices. Certains besoins se font sentir, comme le fait de pouvoir itérer rapidement parmi ces possibles, les hiérarchiser et en évaluer correctement l'impact sur la qualité d'expérience.

2.1.4 · Une base de grammaire commune

Cette courte exploration constitue une première confrontation entre les problématiques de cette étude et mon terrain de recherche.

Sans prétendre constituer de réelles contributions, elles participent néanmoins à la contextualisation de mes questions à d'autres enjeux et sensibilités. La démarche ancrée et les témoignages d'experts de ces différents domaines m'amènent ainsi à comprendre comment mes différents écosystèmes se distinguent et comment ils peuvent également se rejoindre.

Si l'aspect esthétique et créatif de la danse improvisée se heurte au pragmatisme structurel du monde industriel, ces deux mondes fonctionnant à travers des langages et des règles très différents, je tâche néanmoins de m'imprégner le plus possible de leurs énergies respectives. Ces deux univers abordent en effet chacun les questions de l'engagement et de la construction de sens à leur manière, et je peux en regrouper les idées communes ainsi.

L'engagement

L'engagement dans une activité se joue dans ce qui fait du sens pour nous, que ce soit l'atteinte d'objectifs personnels, l'adaptation pertinente d'un challenge, d'une expérience esthétique ou créative.

Il est soutenu par un contexte facilitant, permettant une prise en main immédiate de l'objet d'interaction, améliorant les conditions de confort d'utilisation, ou par l'ajout de stimulations sensorielles influant l'action, que celles-ci soient conscientes ou non.

L'individu doit y trouver toute la place de s'exprimer et de s'approprier l'expérience. L'atteinte d'états de conscience modifiée, rendue possible par l'expérience sociale, peut conférer un statut autotélique à l'activité. La présence de l'autre, qu'il soit de chair ou bien numérique, nourrit l'imprévu et favorise la dérive, en adaptant et en réutilisant à sa façon les éléments de notre propre expressivité. À ces conditions, l'expérience apparaîtra unique et nouvelle à chaque fois.

Le sens

Le sens perçu est profondément dépendant du contexte d'utilisation et de la personnalité de l'utilisateur, autrement dit du monde duquel il émerge. Il ne sera ainsi pas le même d'une personne à l'autre.

Le sens peut provenir des stimulations de différents canaux sensoriels, qu'ils soient uniques ou sollicités de manière simultanée. Là encore, chacun a sa propre sensibilité et peut ainsi interpréter un message différemment. On ne peut systématiser la manière dont sera perçu un message, à moins que celui-ci soit explicite ou que nous ayons une parfaite connaissance des tendances d'un individu.

Il apparaîtrait ainsi intéressant de faire coïncider le degré d'abstraction d'un message avec la liberté d'interprétation laissé au sujet. Plus l'attention et l'action doivent être guidées, plus

le message doit être clair. À l'inverse, lorsque l'on veut laisser l'individu libre et créatif, il est préférable de laisser le sens se construire d'une manière personnelle.

Ces deux idées invitent donc à questionner davantage et sous un angle pratique la personnalisation des interfaces et des expériences, en tentant de comprendre quelles variables sont déterminantes dans la prise de décision, pour comprendre comment les intégrer dans nos équations, ou bien pour les rendre moins opérantes.

Dans les parties suivantes nous proposons d'explorer l'idée d'adaptation du langage interactif de deux manières différentes: à travers d'une part le développement d'outils pour faciliter la conception d'interfaces adaptatives multimodales, et de l'autre l'étude du projet Articulations, qui se focalise sur l'émergence de stratégies de collaboration en réalité virtuelle partagée.

2.2 · Des outils pour penser le langage adaptatif

Au cours de l'atelier Emosearch et durant la première partie de ce manuscrit, nous avons constaté la difficulté qu'il y avait à concevoir un langage naturel et adaptatif. Quelles données recueillir, comment les interpréter, quelles réponses y apporter, et quels intérêts réels pour l'amélioration de l'expérience utilisateur ?

Nous y avons vu que la réaction d'une interface à des informations complexes et contextuelles est supposée améliorer l'effet de présence, la sensation d'altérité et ainsi favoriser l'aspect naturel de ses comportements, mais qu'en même temps cette question implique d'avoir une lecture claire du contexte et des individus impliqués dans l'expérience.

Nous rendons compte dans cette seconde partie expérimentale d'une série de travaux pour favoriser la réflexion autour de l'adaptativité dans les interfaces, et permettre de l'appliquer directement dans des contextes industriels. L'essentiel de ce travail se déroule chez EMOTIC et au sein de son écosystème direct.

2.2.1 · Une première méthode de conception en contexte industriel

Suite à une rencontre avec l'un des directeurs de l'IRISLab, le laboratoire d'innovation de l'entreprise Système U, je suis invité le 19 septembre 2019 à faire une présentation de mes travaux de recherche dans leurs locaux à Carquefou.

Système U est un géant mondial du *retail*, et l'IRISLab en est une cellule interne, destinée à faire évoluer les pratiques et mentalités de ses collaborateurs, à travers des sessions de sensibilisation, des présentations thématiques, ou des ateliers de créativité.

Afin de rendre cette intervention à la fois substantielle sur un plan théorique, et d'amener en même temps les participants à intégrer pour eux-mêmes les questions que j'y porte, nous réfléchissons chez EMOTIC au format le plus approprié pour un tel contexte.

Aidé par Maxime Boënnec, Business Developer au sein de l'agence, nous entreprenons alors le développement d'un atelier conçu spécialement pour cette rencontre.

La première phase de la présentation est pensée pour durer une heure et consiste en une sensibilisation générale sur la question de l'adaptativité et ses liens avec les nouvelles tendances dans l'UX. J'y présente nos métiers et méthodes de design d'expérience, et montre en quoi les interfaces naturelles sont sources de nouveaux enjeux pour les designers comme pour les utilisateurs finaux.

La phase pratique est prévue quant à elle pour durer une heure et demie, et est dédiée à l'application des notions théoriques vues dans la première partie à des sujets concrets.

Nous y envisageons deux types d'applications :

- Développer l'aspect innovant d'un produit existant en y ajoutant une surcouche d'adaptativité, afin d'améliorer sa plasticité et l'expérience utilisateur générale.
- Observer les potentiels interactifs dans une situation donnée et concevoir une expérience totalement nouvelle. L'outil sert ici de catalyseur de créativité.

Dans cette phase pratique, quatre exercices sont proposés :

- I · Identifier les paramètres variants de l'expérience.
- II · Lister parmi ces paramètres les données pouvant être accessibles par le système numérique, en tenant compte de l'utilisabilité, l'invasivité et le respect des utilisateurs.
- III · Formuler une réponse adaptative pour ces différentes données, en se focalisant sur les différents attributs d'une expérience numérique.
- IV · Synthétiser le tout en un scénario permettant de restituer les idées abordées au reste du groupe.

Chaque étape est conçue pour durer vingt minutes, pour une durée totale d'une heure et demie en comptant la restitution finale.

Déroulement de l'atelier

Les participants sont répartis en petits groupes auxquels il est donné du papier blanc, des marqueurs et des post-it.

- Étape I - Identification des variants

Etape I - Identification des variants

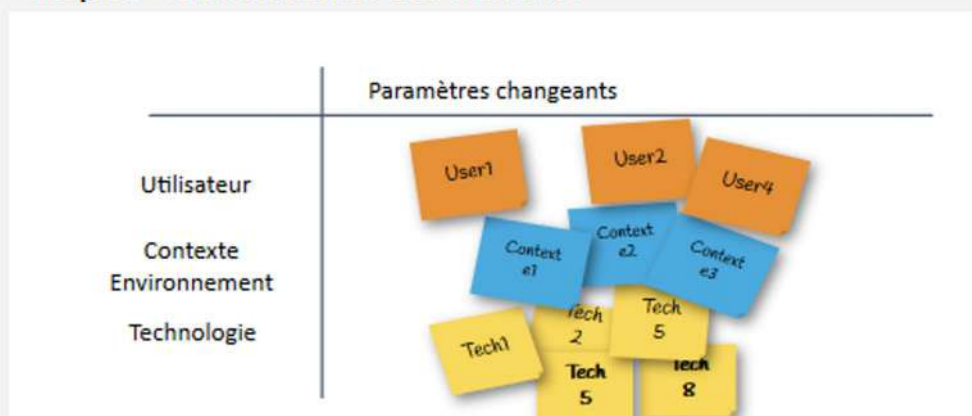


Fig. 36 · Le tableau listant les paramètres changeants de l'expérience

Dans cette première étape, nous cherchons à identifier l'ensemble des variables qui vont évoluer au cours de l'expérience interactive. Les participants sont invités à faire un simple tableau comme sur la Fig. 36, et à disposer des post-it contenant le mot de la variable identifiée.

Les post-it sont séparés en trois catégories, correspondant aux différentes composantes de l'UX : l'utilisateur, le contexte d'utilisation et l'aspect technologique.

On cherche à lister ici ces variables d'une manière indépendante, sans penser à leur utilisation finale. Il est envisageable de lister facilement une trentaine d'éléments dans le temps imparti.

- Étape II - Identification des données d'entrées

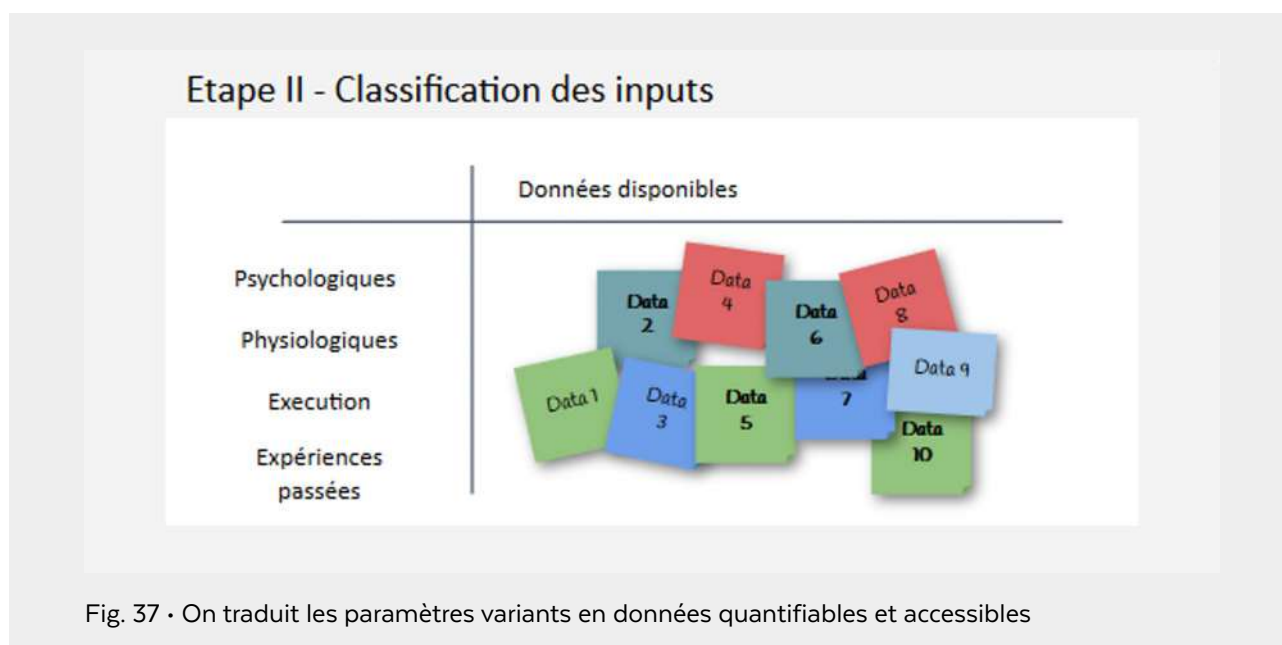


Fig. 37 • On traduit les paramètres variants en données quantifiables et accessibles

Dans cette seconde partie nous cherchons à traduire la liste des éléments présentés à l'étape I en données quantifiables et accessibles. En concevant le caractère envisagé du produit final, nous pouvons sélectionner celles qui semblent le plus à même de trouver un intérêt dans ce cas précis.

Cette partie permet d'opérer un premier filtrage sur le type de données dont nous souhaitons alimenter le système numérique. Ce filtrage peut se faire en fonction des contraintes techniques rencontrées, des frontières éthiques, légales et morales qui encadrent l'usage du produit, ou par simple souci de maintien de l'intelligibilité du langage interactif.

Les données restantes sont ensuite listées en un ensemble de nouvelles catégories, cherchant à les différencier selon leurs impacts potentiels sur l'expérience. Ces catégories peuvent être adaptées selon le type d'expérience envisagé¹⁶.

¹⁶ Le fait de parler en étape I de « variables », et en étape II de « données » permet de ne pas biaiser la réflexion en réfléchissant directement aux finalités et fonctionnalités. Le rapport numérique n'est ainsi abordé que dans la seconde étape, permettant de penser l'idéation comme progressive et globale.

· Étape III - Réponse adaptative

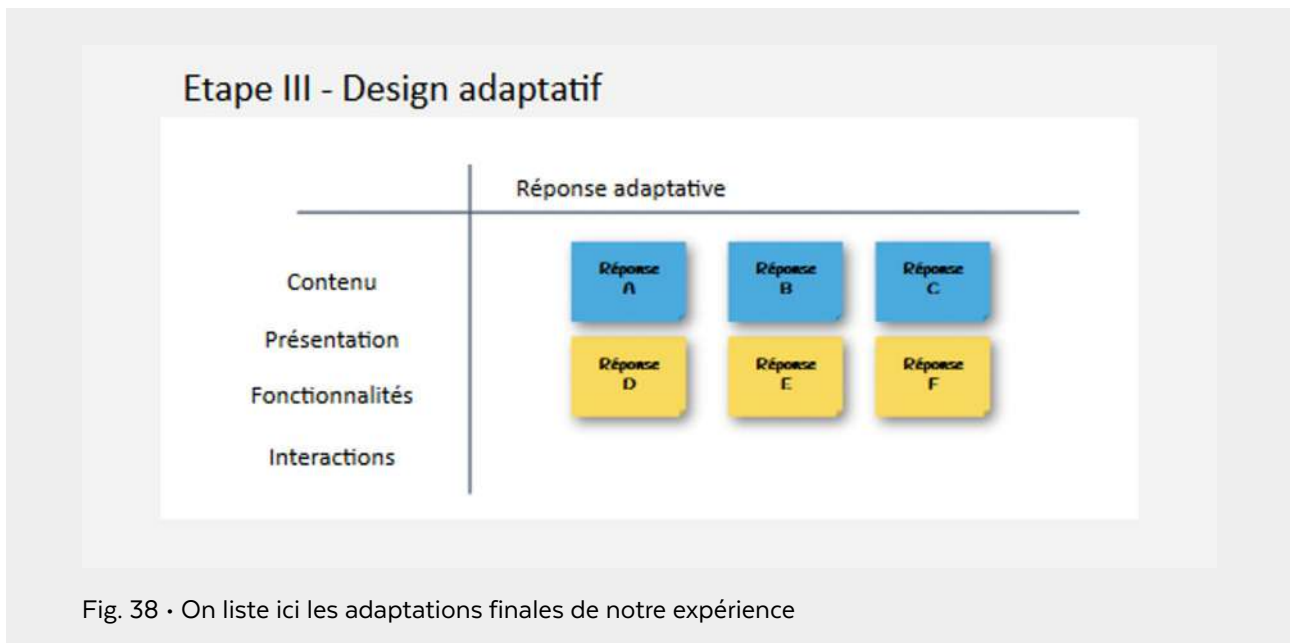


Fig. 38 · On liste ici les adaptations finales de notre expérience

Cette troisième partie consiste à imaginer une réponse adaptative pour chacune des données identifiées à l'étape II et à les classer selon le type de critère concerné.

On peut ici rappeler les critères d'un produit numérique d'Hassenzahl, et donner des exemples d'adaptations concernant les choix de contenus, de présentation, de fonctionnalités, ou d'interactions du produit. À partir de ces données d'entrée et ces réponses adaptatives, il est possible d'imaginer à présent les contours de notre expérience.

- Étape IV - Sélection des fonctionnalités et formalisation de l'expérience

Etape IV - Dessin parcours & expérience

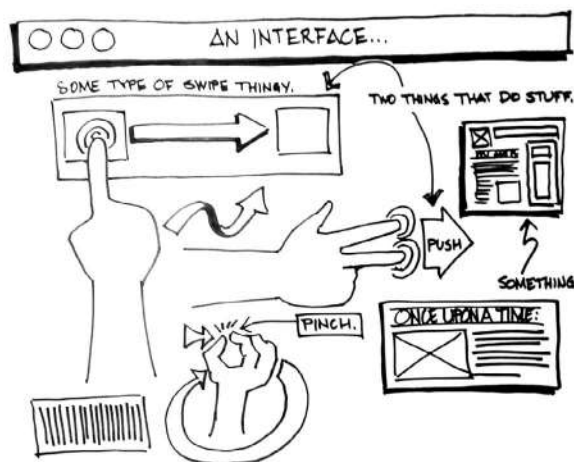


Fig. 39 • Un dessin type présentant différentes étapes d'une expérience interactive

Dans cette quatrième et dernière étape, il va être proposé de sélectionner les réponses adaptatives les plus pertinentes et d'en formaliser finalement le déroulement de l'expérience globale.

Cette sélection peut être réalisée via un processus d'estimation de l'intérêt de la fonctionnalité sur l'expérience utilisateur mis en perspective à celle du coût de développement.

De l'ensemble de fonctionnalités isolées ici, on peut finalement constituer notre parcours utilisateur type et déterminer les contours de notre produit final. Cette partie est celle qui génère finalement le plus de discussions. Un dessin peut être réalisé afin de résumer les choix pris au cours de l'atelier et les présenter aux autres groupes¹⁷.

¹⁷ Lorsque cela est possible, une étape supplémentaire à l'atelier peut être envisagée. Celle-ci consiste en un prototypage rapide des différentes fonctionnalités afin d'en éprouver la pertinence via l'expérience directe. Cette étape est idéale mais nécessite un temps pouvant s'avérer important selon les natures de l'expérience et des fonctionnalités envisagées.

2.2.2 · Première application de la méthode à l'IRIS Lab de Systeme U

Le premier test de cette méthode d'idéation est réalisé en situation réelle, directement dans les locaux de l'IRISLab. Cet atelier réunit une dizaine de collaborateurs de Système U, des chefs de projet informatique, des architectes en systèmes d'information, et des analystes de tests.

Tous les participants se sont inscrits de manière volontaire, par intérêt ou curiosité.

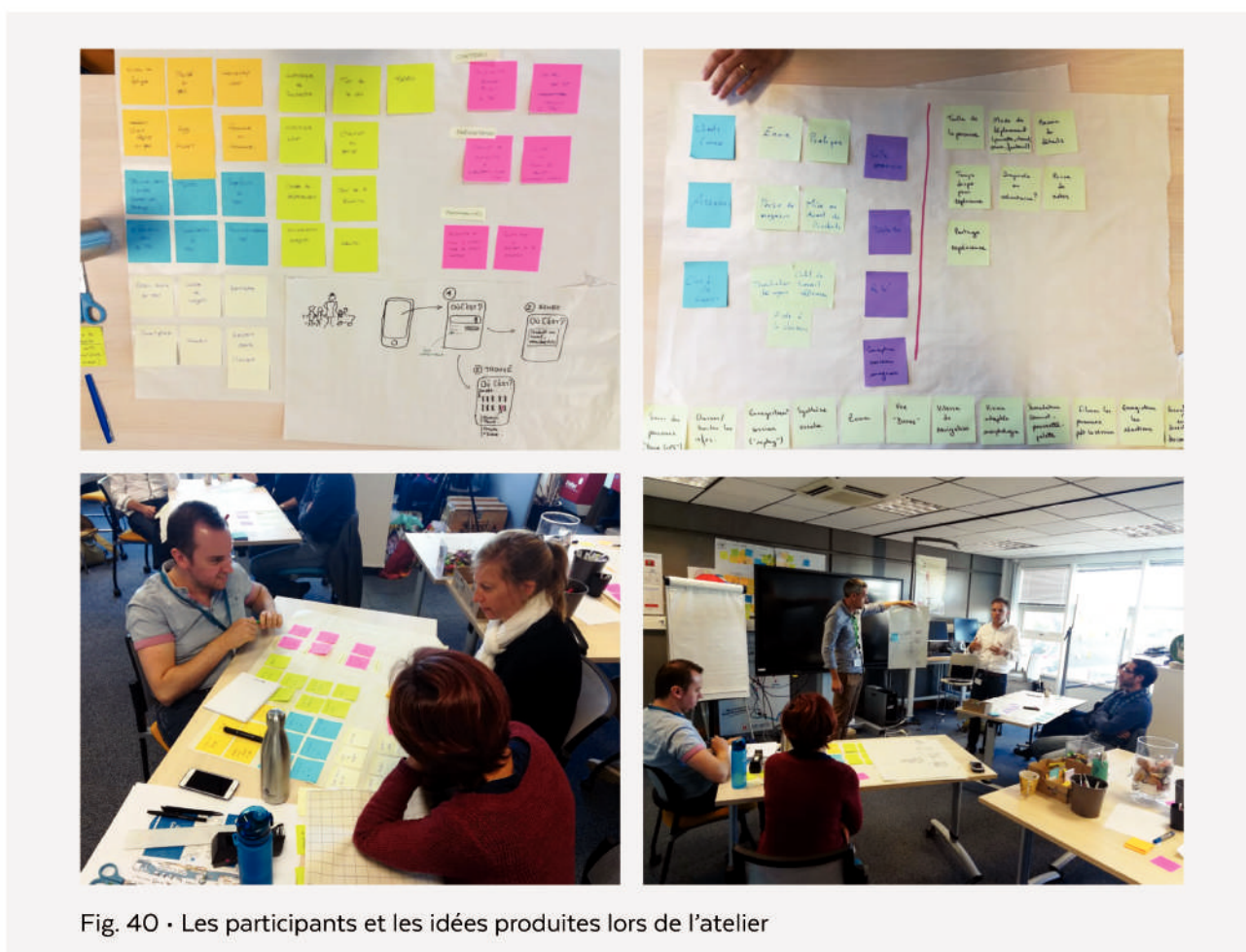


Fig. 40 · Les participants et les idées produites lors de l'atelier

Une fois la présentation théorique réalisée, les huit participants sont répartis en trois groupes et enchaînent les différents exercices sur la base de projets libres choisis par eux.

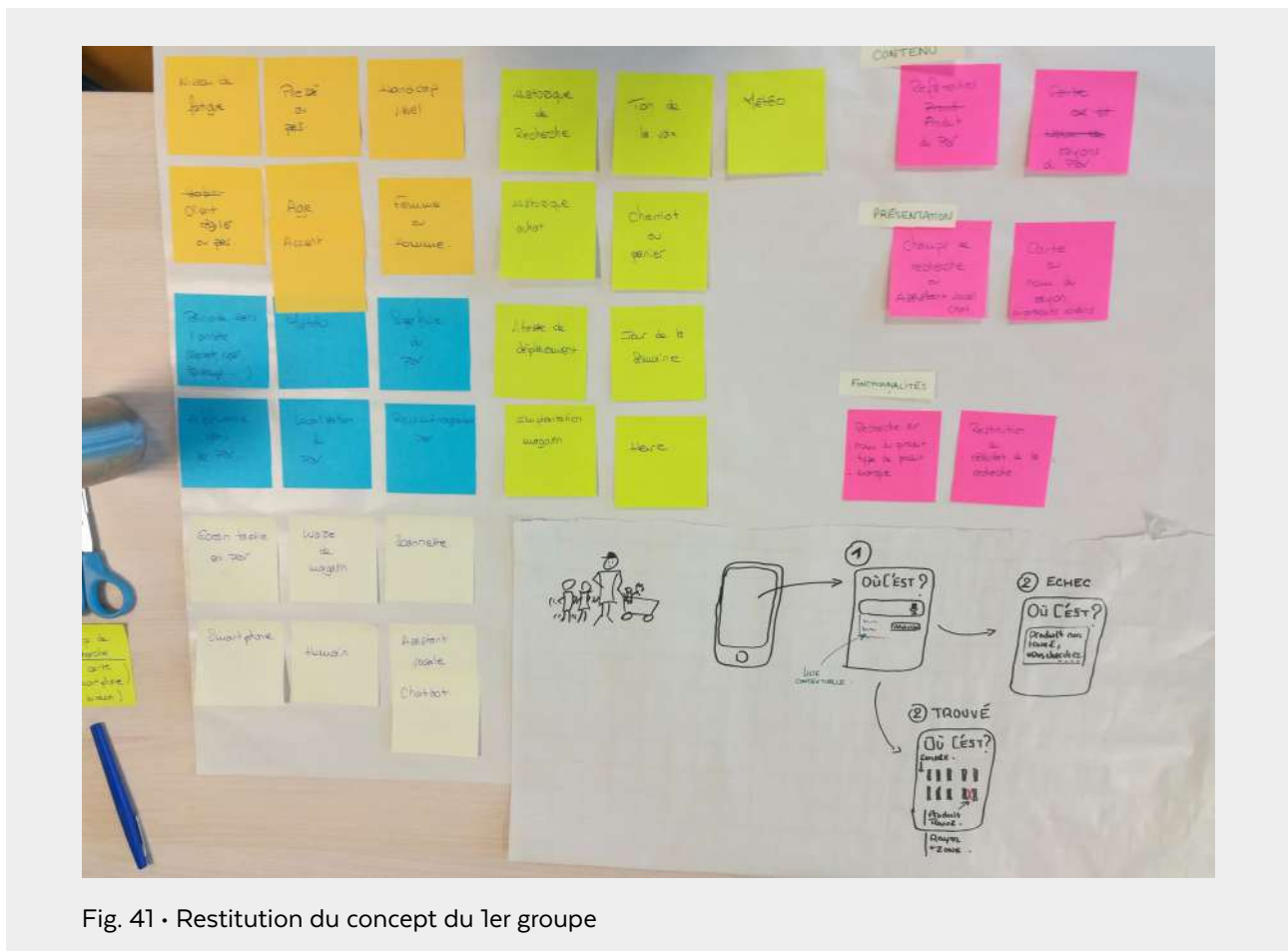


Fig. 41 • Restitution du concept du 1er groupe

Un premier groupe propose une solution sur mobile pour guider des clients dans un magasin (Fig. 41). La solution calcule l'itinéraire le plus rapide en fonction d'une liste de courses donnée tout en prenant compte de la vitesse de déplacement, la fréquentation et la position des autres clients dans le magasin.



Fig. 42 • Restitution du concept du 2nd groupe

Un second projet cherche à créer un système pour prévoir toutes les problématiques de rayonnage avant même la conception d’un magasin. Une personne se déplace dans une application en réalité virtuelle qui se charge de concevoir la meilleure organisation du lieu en fonction de l’expérience enregistrée (activité oculaire, ordres vocaux, mais aussi des différentes morphologies, des produits, et de contraintes préétablies).

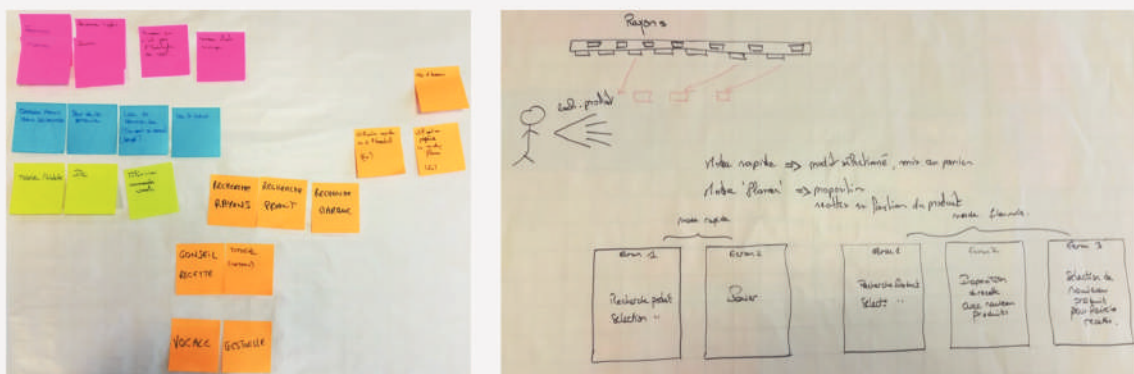


Fig. 43 • Restitution du concept du 3e groupe

Un troisième projet traite de l’expérience en ligne type “drive”. La solution proposée cherche à prendre en compte le temps que souhaite passer la personne à faire ses courses en ligne, et à proposer plusieurs modes de navigation sur le site.

Un premier mode va à l'essentiel, plus succinct et basé sur les expériences passées. Un autre mode plus exploratoire permet de voir des produits différents en fonction du jour de la semaine, du mois de l'année et de variables éventuellement pré remplies (une recette de cuisine spécifique par exemple).

2.2.3 • Retours et analyse de l'atelier

À la demande des participants, un tableau d'exemples des données accessibles a été affiché durant la phase II de l'idéation. Ce tableau n'était pas destiné à aider à la réflexion mais il s'est finalement avéré utile, plusieurs participants ayant du mal à identifier les possibles bases pour penser l'adaptation.

À l'issue de l'atelier un questionnaire a été envoyé aux participants pour recevoir leurs avis par rapport à l'atelier. Six personnes sur les huit ont répondu, seules les réponses qui nous intéressent ici sont rapportées (Table 1).

L'atelier a-t-il répondu à vos attentes ?	Quel est votre niveau de satisfaction ? [Qualité générale de l'atelier]	Quel est votre niveau de satisfaction ? [Possibilité de mise en pratique du sujet]	Quel est votre niveau de satisfaction ? [Échange entre les participants]	Avez-vous des idées ou suggestions pour améliorer l'atelier ?	Conseilleriez-vous cet atelier à un de vos collègues ?
Oui, complètement	Satisfaisant	Satisfaisant	Satisfaisant		Oui
En grande partie	Très satisfaisant	Satisfaisant	Très satisfaisant	Cette présentation pourrait être présentée aux métiers pour bien comprendre l'enjeu de l'UX. Pour une mise en pratique un accompagnement semble nécessaire.	Plutôt oui
Oui, complètement	Très satisfaisant	Satisfaisant	Très satisfaisant	Atelier à présenter à U Enseigne	Oui
Oui, complètement	Très satisfaisant	Très satisfaisant	Très satisfaisant		Oui
En grande partie	Satisfaisant	Peu satisfaisant	Très satisfaisant	La durée était finalement assez courte, on pourrait prévoir une journée, avec une mise en pratique sur un projet d'application en cours de conception.	Plutôt oui
En grande partie	Très satisfaisant	Peu satisfaisant	Très satisfaisant	Proposer le même atelier à nos utilisateurs U Log / U Enseigne	Oui

Table 1 - Les notes et résultats donnés par les participants à l'issue de l'atelier

Tout en reconnaissant la complexité de la mise en pratique, notée peu satisfaisante par deux personnes, il est intéressant de constater l'enthousiasme rencontré par les différents participants lors de cet atelier.

L'aspect exploratoire du sujet a pu certainement apparaître séduisant, d'autant plus que la plupart des participants n'étaient pas habitués à manipuler de tels outils d'idéation. Des commentaires invitent à repenser le format de l'atelier, en proposant un accompagnement plus soutenu ou en rallongeant sa durée. Notre objectif étant ici dédié à une première sensibilisation, le format semble tout de même approprié.

Le but de cet atelier était donc de tester une première version de cette méthode et de tester la pertinence des questions soulevées dans ce projet de thèse dans un environnement industriel, pour le coup très porté sur l'applicabilité des sujets abordés.

De ce point de vue les réponses sont très confortantes et plaident pour une pertinence de l'outil développé pour s'emparer du sujet et favoriser l'idéation.

2.2.4 • Deuxième application de la méthode chez EMOTIC

Suite à cette première expérience encourageante chez Système U, nous discutons chez EMOTIC d'une éventuelle industrialisation de la méthode d'idéation, afin de la rajouter à l'ensemble des services proposés par l'agence à ses clients.

Nous décidons de tester ensemble cette fois la méthode, en l'appliquant à nos propres produits. Quatre participants d'EMOTIC se joignent ainsi à moi pour ce second essai :

- Quentin, notre lead UX, designer et spécialiste de l'animation d'ateliers de design thinking.
- Jean-Charles, directeur conseil en offre phytigitale et immobilière.
- Olivier, notre directeur technique.
- Moi-même, jonglant entre l'animation de l'atelier, la présentation des concepts et exercices, et m'incluant dans les phases de créativité.

L'atelier se déroule en deux phases distinctes de 2h et 30 min, et prend comme support différentes expériences numériques existantes chez EMOTIC. Certaines sont en cours de développement, d'autres sont achevées mais néanmoins retenues pour l'exercice, et d'autres encore sont encore au stade de prototypes.

Chacun en choisit deux en début d'atelier, selon ses préférences et intérêts, avant de se lancer dans les différents exercices (Fig. 44).

Le format choisi pour l'atelier est le même qu'à Système U, à l'exception de la phase IV de dessin qui est retirée.

Au cours des deux heures, trois expériences sont sélectionnées par les 4 participants, et 32 fonctionnalités sont listées.

Au cours d'une seconde entrevue, nous listons toutes les fonctionnalités proposées au cours de la première session. Dans le but de les évaluer, nous proposons deux notes pour chacune, allant de 1 à 5. La première note estime la valeur ajoutée en terme d'expérience utilisateur (1 étant un intérêt très faible, et 5 une valeur ajoutée très forte), et la seconde le coût de développement, estimé de 1 à 5 également (1 étant un coût très faible, et 5 un coût très élevé)

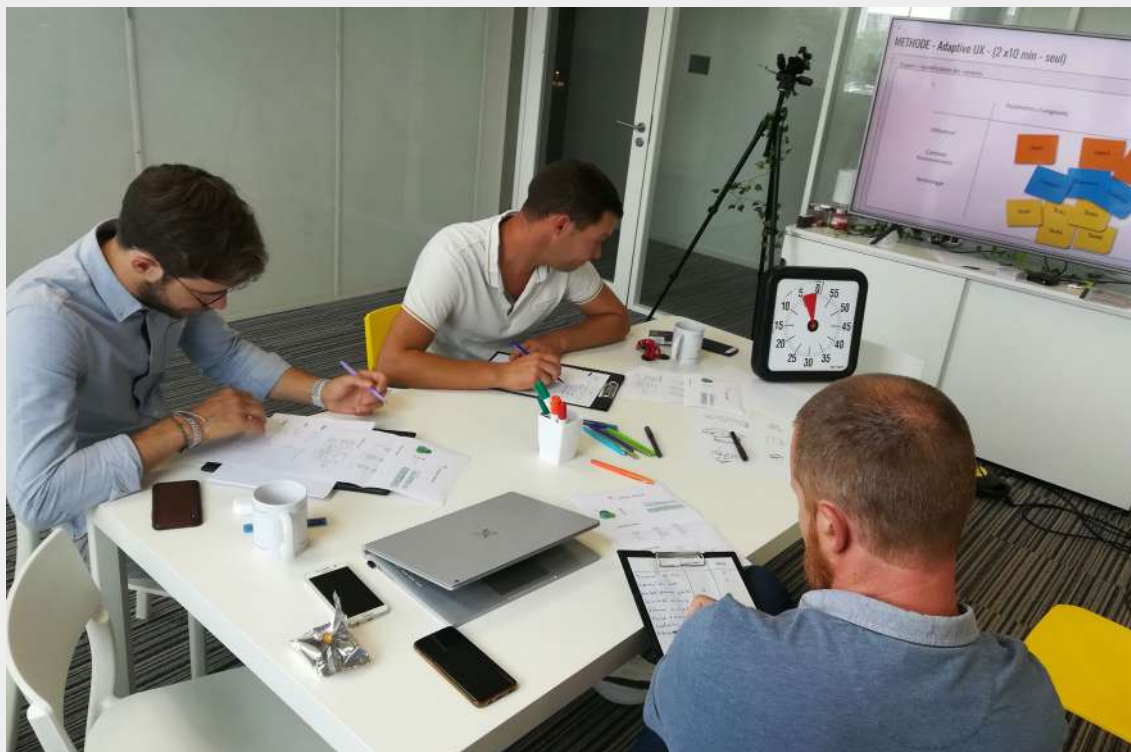


Fig. 44 · Quentin, Jean-Charles et Olivier participant à l'atelier

Il ressort que la liste des fonctionnalités proposée a été notée en moyenne à 3.5/5 (écart-type de 0.67) tandis que la moyenne du coût a été notée 2.63/5 (écart-type 0.93).

Les fonctionnalités imaginées lors de l'exercice apparaissent ainsi comme majoritairement intéressantes pour un coût de développement jugé peu important.

2.2.5 · Retours et analyse du second atelier

À l'issue de l'atelier nous avons engagé une discussion critique sur la pertinence de l'outil, que j'ai pu enregistrer et dont voici quelques citations :

Jean-Charles :

« Je ne connaissais pas l'idée du design adaptatif avant tes présentations et je trouve ça très intéressant »

« Je fixerais mieux le cadre, l'objectif et la finalité. »

Olivier :

« Je n'ai pas compris le premier exercice des variants, j'ai fait le 2e, mais je pense qu'on est arrivé à ce qu'on voulait. »

« Le reste c'est très bien, on arrive au résultat escompté »

« L'outil nous a fait repenser à des choses qu'on avait oubliées pour certains projets »

Quentin :

« 2h c'est pas assez pour aller en profondeur sur toutes les associations possibles »

« Le tableau d'exemple a beaucoup aidé »

« Peut-être trouver un jeu de cartes avec des in et out, et on trie de manière itérative pour faire des associations aléatoires. »

« Quand je réfléchis aux inputs, je pense directement aux outputs (Jean-Charles confirme) »

« C'est un bon outil pour penser à des fonctionnalités, ça change de penser par les inputs »

Par ailleurs, les mêmes problèmes semblent avoir été observés que lors de l'atelier chez Système U :

- Concernant la structure des ateliers menés, les phases I et II ne sont pas perçues comme suffisamment différentes. Les participants ne comprennent pas comment opérer cette nuance entre la première phase qui consiste à identifier les variants généraux, et la seconde qui se concentre sur les données accessibles par le système. Ce problème est peut-être dû à un manque d'explications, ou au fait que les participants ont en tête la finalité appliquée de l'atelier. Peut-être qu'un nom différent donné aux exercices permettrait de mieux saisir ces nuances, ou bien est-il nécessaire de trouver une alternative groupée à ces deux exercices. Le tableau d'exemples des données quantifiables s'est avéré dans les deux cas d'une grande aide pour les participants. Identifier de telles données est peut-être plus évident pour un public d'experts que pour des personnes non sensibilisées aux thématiques d'IoT. Peut-être

conviendrait-il de distribuer un exemple de données accessibles au début de l'exercice, au risque de biaiser le raisonnement et la créativité.

- Dans chacun des deux ateliers, nous avons listé un certain nombre de fonctionnalités pour des expériences existantes ou bien conçues à partir de 0.

De manière générale, les fonctionnalités les mieux perçues concernent des expériences pouvant bénéficier d'une forme d'agentivité, différenciant ainsi l'interface-outil de l'interface-partenaire.

Certaines adaptations apparaissent centrales et décisives à la bonne complétion d'une tâche, d'autres sont davantage propres à l'amélioration du confort et de l'engagement créatif. On peut supposer que dans des expériences de type ACT, la pertinence des adaptations pragmatiques sera primordiale, tandis que pour des expériences de type SELF, la qualité d'expérience sera conditionnée à la justesse des adaptations hédoniques (voir 1-3-2).

Si un certain nombre de ces fonctionnalités peuvent apparaître cosmétiques et non-indispensables, d'autres en revanche ont été évaluées comme pouvant grandement augmenter la qualité d'expérience et ce, pour un coût de développement réduit. Le fait d'avoir pu les imaginer ainsi en un temps réduit plaide donc pour la pertinence des outils développés.

Globalement les retours formulés au cours de ces deux ateliers sont positifs, la méthode d'idéation semble stimulante pour accompagner l'innovation et générer de nouvelles idées en un temps limité.

Le format n'est en revanche pas jugé optimal et pourrait être revu. Différencier davantage les exercices ou en les regroupant sous un nom différent, et repenser également le rôle actif de l'encadrant de l'atelier pourrait s'avérer pertinent.

La sensation générale en fin d'atelier est d'avoir accumulé beaucoup de matière pour un petit nombre de bonnes idées. Un atelier de 2h semble adapté pour une sensibilisation au sujet, mais pour être répété il mériterait à être étendu à un format plus long (4h+ pour laisser davantage le temps aux associations de se faire), ou bien plus court (30 min aidé d'exemples, amenant à une génération rapide et dynamique d'idées).

Cette dernière observation m'amène à entreprendre le développement d'une version différente de cet outil d'idéation, et dont je vais parler à présent.

2.2.6 • Un second outil ludique

Sur les suggestions de Quentin LeRoux, lead UX chez EMOTIC, et secondé pour la conception graphique de Juliette Lima, designeuse UI/X, nous avons décidé de plancher sur une version plus légère et rapide de l'exercice, tout en cherchant à parvenir à des résultats similaires.

Librement inspirée des méthodes d'idéation de l'agence IDEO, cette version alternative de notre outil d'idéation se destine à un format d'atelier où il n'est pas prévu de sensibilisation préliminaire et où on souhaite se concentrer directement sur la dernière phase de conception des fonctionnalités.

Le but est ici de lister un grand nombre d'exemples en pensant davantage en terme de relationnalités¹⁸ entre les trois composantes de l'UX. Dans les faits, l'action consiste à tirer aléatoirement des associations inédites afin d'innover de manière impulsive et rapide, conduisant à la définition de multiples adaptations possibles de l'interface

¹⁸ Ce terme désigne ici les liens de cause à effet pouvant être imaginés, associant des événements survenant au cours de l'expérience à des réactions du système numérique.

Trois types de cartes listent un certain nombre d'entrées possibles du système, dont les types sont différenciés par la couleur et les symboles affichés au verso (Utilisateur, Contexte, Technologie). Ces entrées sont parmi les plus communes et les plus facilement accessibles du point de vue du développement informatique (Fig. 45).

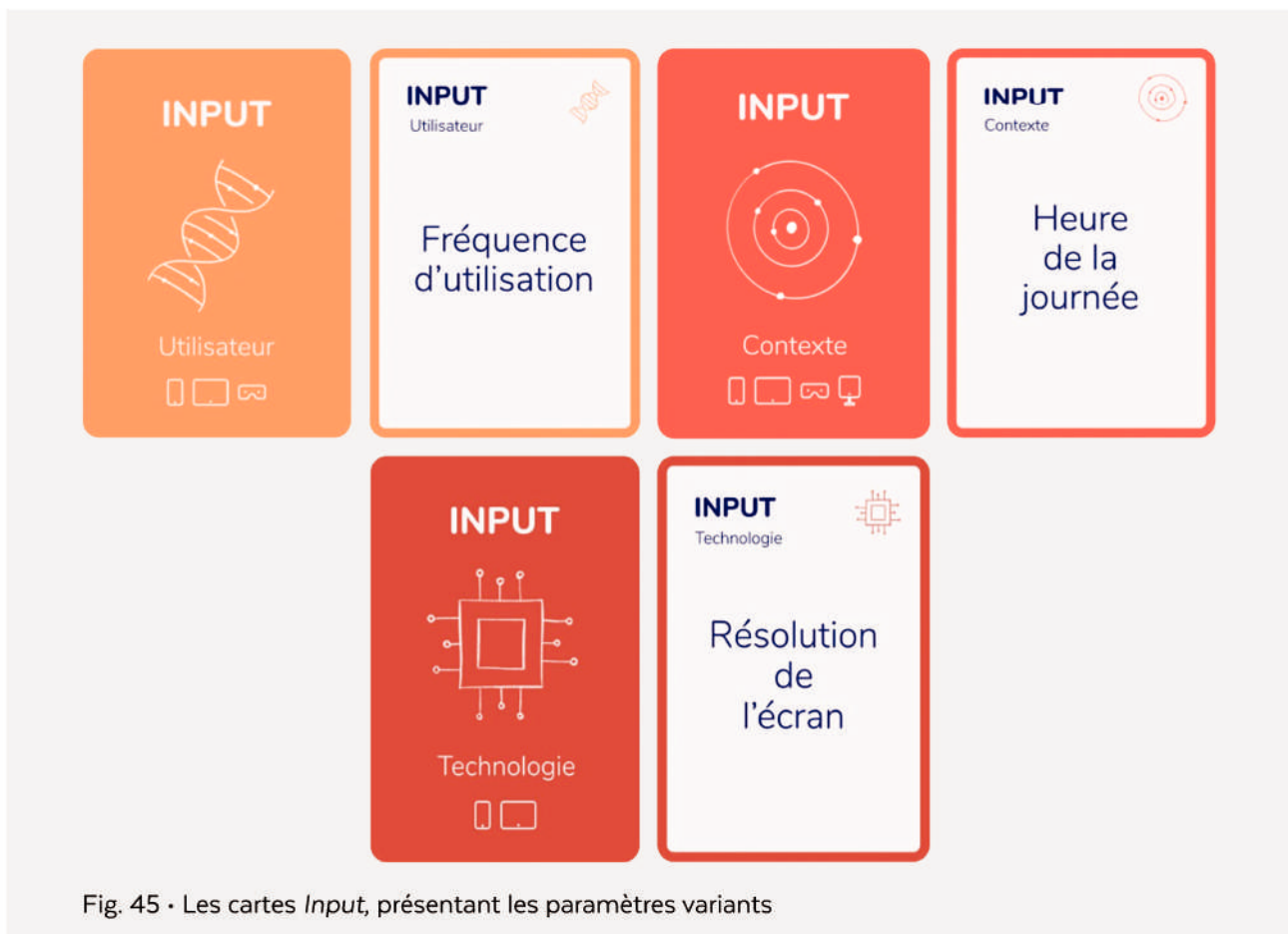


Fig. 45 · Les cartes *Input*, présentant les paramètres variants

Trois autres types de cartes listent certaines réponses possibles du système (adaptation pragmatique, hédonique, ou les deux). De même, ces réponses sont des propositions communes, n'impliquant pas un développement supplémentaire important (Fig. 46).

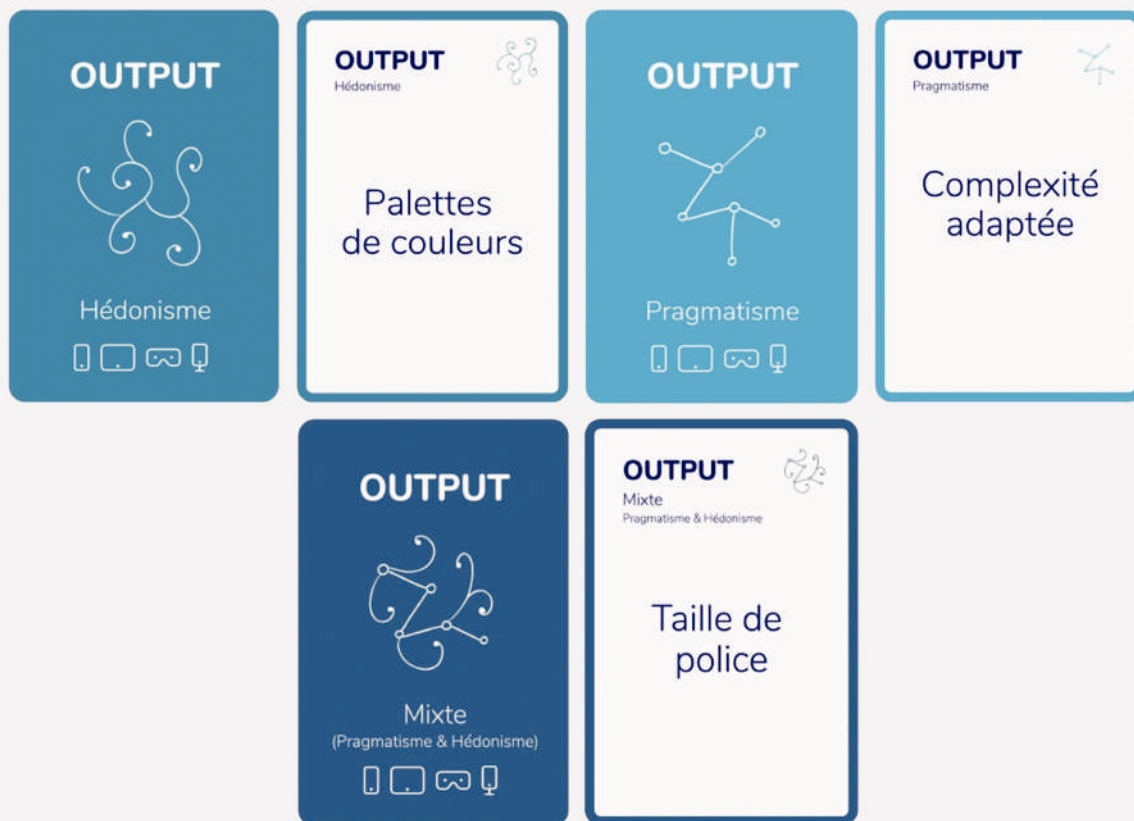


Fig.46 · Les cartes *Output*, présentant les réponses sensorielles activantes

Les pictogrammes au bas du verso listent les types d'expériences pouvant être adressées par cette carte - mobile, écran d'ordinateur, casque de réalité mixte, borne interactive - afin d'adapter et trier rapidement le jeu de cartes en fonction du contexte d'utilisation considéré.

Un dernier type de carte, appelé booster, et librement inspiré des *Oblique Strategies* de Brian Eno consiste en un set de cartes destinées à débloquer ou perturber l'idéation (Fig. 47).

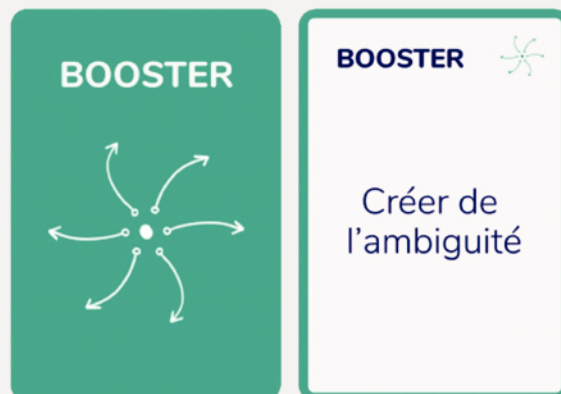


Fig. 47 · Les cartes *Booster*, proposant des idées supplémentaires pour stimuler la production d'idées

Plus qu'un outil d'innovation, ce jeu de cartes se veut destiné à une utilisation grand public, dans des groupes constitués de non-experts et sans nécessairement une sensibilisation préalable au sujet.

Il perd l'intérêt de la méthode d'idéation qui est de pouvoir baser la réflexion sur des événements propres à une expérience unique. Ici les cartes *input* ne peuvent en effet pas être adaptées à une situation et à des données singulières.

Ce jeu trouve néanmoins son intérêt dans le cadre d'échauffements créatifs et pour une génération d'idées rapide.

Au total 99 cartes furent créées, le jeu n'a pas été testé à ce jour mais plusieurs exemplaires devraient être imprimés prochainement.

2.2.7 · Conclusion sur les outils développés

Dans cette partie, nous avons présenté deux outils qui aident à imaginer facilement et rapidement des fonctionnalités innovantes dans le but d'enrichir les comportements d'une interface.

Au vu des retours et notes formulés par les participants durant les ateliers, l'aspect adaptatif d'un produit numérique semble pouvoir contribuer à l'amélioration de l'expérience utilisateur en jouant sur de multiples tableaux : en rendant l'information plus accessible, en ajustant des paramètres de confort et d'ergonomie, en stimulant l'utilisateur grâce à des stimuli motivants, ou en donnant simplement une impression de présence.

C'est de la diversification et de la bonne calibration de ces fonctionnalités qu'un langage interactif pourra apparaître plus naturel, car paraissant réagir à une base de sens commune et à d'autres informations que la simple action consciente de l'utilisateur.

La question délicate du sens à donner à chaque donnée captée ne doit cependant s'aborder qu'au cas par cas et s'éprouver par l'usage, tant elle est liée au contexte d'utilisation et à ses différentes variables combinées.

De plus, une difficulté majeure réside dans l'incapacité de construire précisément du sens à partir de données sensibles, impulsives ou abstraites. Ces dernières n'étant pas mêmes explicites pour l'humain, de nouveaux modes d'analyse et de quantification doivent être trouvés.

Nous proposons de rappeler ici les quelques questions d'Ebert et al. (2013) abordées dans notre état de l'art, afin de faciliter la sélection et la calibration de ces différentes fonctionnalités lors d'utilisations ultérieures de ces outils d'idéation :

- Les adaptations sont-elles appropriées et aident-elles au déroulement de l'expérience ?
- Interviennent-elles à des moments opportuns ?
- Sont-elles proposées avec parcimonie ? - Une trop grande quantité d'adaptation peut en effet lasser l'utilisateur et l'amener à les ignorer ou les éviter.
- Sont-elles transparentes ? L'utilisateur comprend-il leur provenance ?

Si l'aspect naturel du langage interactif ne semble donc pas pouvoir être systématisé, développer la multimodalité apparaît comme susceptible d'améliorer l'engagement et la qualité générale de l'expérience.

Cette multimodalité implique néanmoins d'identifier préalablement le contexte de l'expérience, et d'évaluer la pertinence des différentes fonctionnalités imaginées, soit par l'estimation soit par le prototypage et un test direct.

Les outils développés dans cette section facilitent toute cette approche et, même s'ils nécessitent d'être encore éprouvés, ils semblent pertinents pour la suite de notre étude.

2.3 · Articulations / Vers une « réalité diminuée »

2.3.1 · Introduction

Dans les parties précédentes, nous avons exploré comment plusieurs boucles action/perception pouvaient impacter en même temps la qualité de l'expérience utilisateur. Nous y avons vu que les réponses adaptatives pouvaient agir à différents niveaux sémantiques et adresser différentes catégories de fonctionnalités.

Si l'aspect multimodale semble toujours une piste à poursuivre, il apparaît également nécessaire de comprendre en quoi l'adaptativité peut apparaître comme naturelle aux yeux d'un participant.

Dans cette section nous proposons justement de nous confronter à cette problématique, en tentant de comprendre les mécanismes déterminants de la coordination entre deux individus. Nous rendons compte pour cela des différentes phases du projet Articulations, une recherche transdisciplinaire entre arts et sciences qui étudie la genèse du geste dansé collaboratif à travers la diminution des corps, rendue possible par l'immersion en réalité virtuelle.

Nous y questionnons la co-construction de sens à partir du simple mouvement, et tentons d'observer les synergies pouvant avoir lieu entre deux corps privés de leurs outils usuels de communication.

Profitant de la plasticité naturelle de la cognition humaine, nous y étudions comment les règles de la communication peuvent être rebattues, et offrir de nouveaux outils pour la mise en mouvement.

Le numérique y joue ici le jeu d'interface « obstacle », bridant la communication mais ouvrant au même moment à de nouveaux possibles pour penser, créer et se comprendre.

2.3.2 · Genèse d'un projet transdisciplinaire

Le projet Articulations naît fin 2018 de la rencontre entre les membres du projet Labodanse/ICI¹⁹ et le groupe Spatial Media²⁰ de l'Ensadlab.

Né au sein du Labex Arts H2H, le Labodanse est un projet qui explore les synergies entre danse, interactions Homme/machine et neurosciences pour une étude du langage et des processus créatifs. Spatial Media, groupe de recherche de l'Ensadlab est pour sa part spécialisé dans l'étude des médiations spatiales, questionnant les enjeux de la co-présence et de l'empathie en milieu immersif sur la collaboration et la création en art et en design.

Les impacts de la modification de l'apparence corporelle et du rapport au geste intuitif en immersion sont d'un intérêt primordial pour ces deux entités de recherche.

En réponse à un appel à projet de l'EUR ArTec, Articulations est initialement présenté ainsi :

« Notre projet se propose d'étudier l'articulation entre les dynamiques expérientielles vécues et les dynamiques d'interactions créatives telles qu'elles se tissent au cours d'improvisations collectives dansées. Nous souhaitons développer une installation artistique en réalité virtuelle dans laquelle les participants peuvent interagir entre eux via des représentations simplifiées de leurs mouvements corporels ».

Plus qu'une simple observation esthétique, le projet vise à développer un outil pour l'analyse à posteriori de ces mêmes dynamiques corporelles, et à recueillir des données qualitatives permettant de mesurer la qualité de l'expérience vécue et des choix de design.

« Nous désirons, en plus d'analyser de manière quantitative les comportements observés, recueillir les contours affectifs de leurs expériences vécues en exploitant des ressources numériques. Nous proposons pour cela une méthode inédite d'interrogation multi-modale et non-verbale du vécu, dans laquelle les participants qualifient leur expérience à travers des motifs sensori-moteurs. Nous souhaitons guider ainsi la compréhension des dynamiques d'interaction créatives et mettre en lumière les dynamiques expérientielles sous-jacentes aux processus créatifs de groupe ».

Cette rencontre dote le projet d'un horizon résolument transdisciplinaire, incluant cogniticiens, neuro-scientifiques, danseurs et philosophes dans une recherche commune autour de ces phénomènes sociaux d'improvisation partagée²¹.

¹⁹ <https://labodanse.org/ici/>

²⁰ <https://spatialmedia.ensadlab.fr/>

²¹ Tout au long de ses trois années, le projet mobilisera une formidable énergie collective, portée entre autres par Asaf Bachrach, Julien Laroche, François Garnier, Joe Dumit, Dionysios Zamplaras, Clint Lutes, Rémi Sagot-Duvaurox, Alexandre Coutte, Alexandra Endaltseva, Guofan Xiong et moi-même.

2.3.3 · Une rencontre entre minimalisme et réalité virtuelle

Le minimalisme pour l'étude des interactions sociales

Articulations se base sur une littérature cognitive et artistique mettant le minimalisme en son cœur. Chercheurs et artistes ont depuis longtemps exploré la réduction de l'information comme une manière de révéler l'espace environnant, focaliser l'attention, manipuler la perception de l'espace, du temps ou du corps.

Heider et Simmel montrent dès 1944 les tendances qu'ont les individus à créer des histoires de tout ce qu'ils observent, plus particulièrement ici d'attribuer des intentions à des simples formes en mouvement. Grâce à la vidéo d'animation qui sert de support à leur étude, les auteurs illustrent ici un biais cognitif devenu référence, qui montre que cette interprétation des intentions nous est propre et l'œuvre d'une construction inconsciente (Fig. 48).

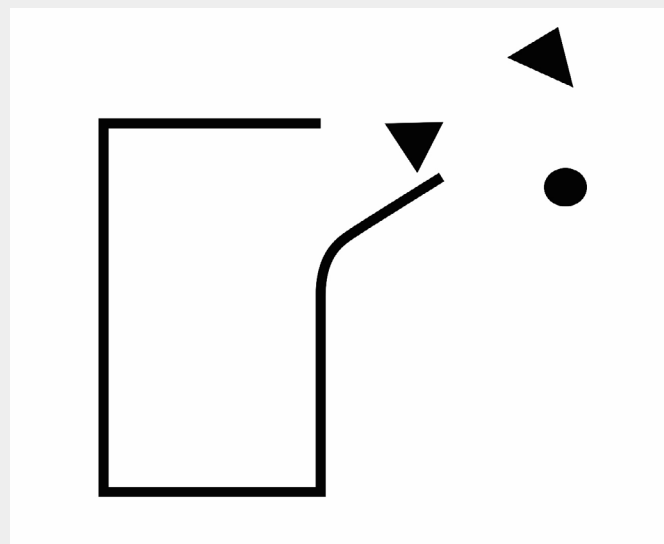


Fig. 48 · Étude de Heider et Simmel sur les biais cognitifs portés aux formes en mouvement (1944)

Cette tendance à minimaliser l'information pour focaliser l'attention a depuis été élargie à de nombreuses reprises dans des travaux de recherche, en montrant par exemple comment la perception humaine peut reconnaître des informations complexes comme le mouvement corporel (Johansson, 1973) les émotions (Dittrich et al. 1996) ou même des relations sociales (Froese et al., 2014), à travers un ensemble minimaliste.

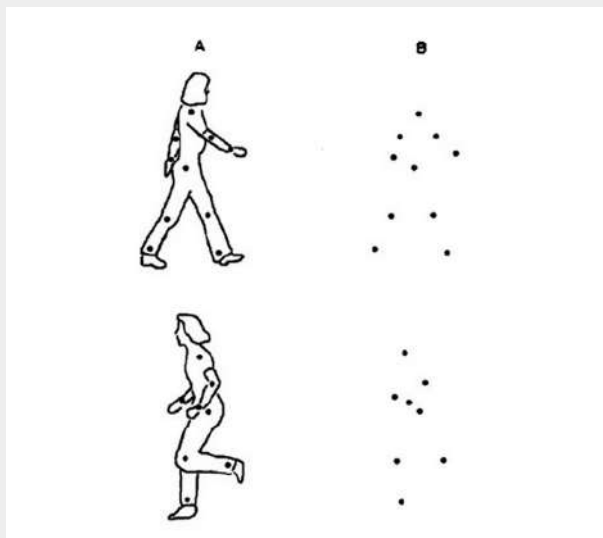


Fig. 49 · Étude de la perception du mouvement corporel de Johansson (1973)

Plus récemment, le « *cross-perceptual paradigm* » proposé par l'équipe de Charles Lenay dans Auvray et al. (2009) a marqué les esprits en proposant des installations pour l'étude des mécanismes relationnels, où l'interaction est reconnue comme davantage que la simple addition des comportements individuels.

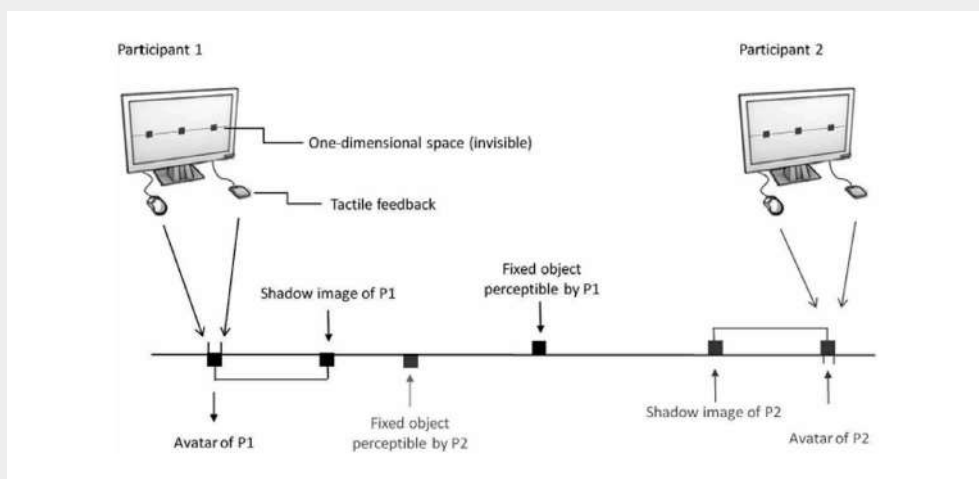


Fig. 50 · Illustration schématique de l'installation expérimentale d'Auvray et al. (2009)

À l'aide d'un axe uni-dimensionnel et d'une réponse tactile binaire, les auteurs démontrent la capacité des individus à différencier une présence humaine d'une présence d'objets « leurres ». Faisant parcourir à chacun un objet sur le même axe, deux participants n'ont qu'une vue partielle du paradigme mais peuvent néanmoins se sentir co-présents, car reconnaissant des réactions de l'autre objet à leur propre mouvement.

Leur étude prouve la capacité qu'a un dispositif aussi réduit à faire ressortir des informations complexes de collaboration et d'adaptation sociale. Ce principe a depuis été étendu dans de nombreux champs de recherche, incluant la psychologie expérimentale, la philosophie, la psychopathologie et certaines branches du design²².

Le minimalisme en arts

Dans les domaines des arts, de nombreux travaux ont développé l'approche minimaliste comme un genre en soi, cherchant l'épuration absolue de l'information, pouvant être faite de couleurs, de sons, de matières ou de mouvements. Ce style trouve sa richesse dans l'équilibre des contrastes et des dynamiques, dans le renforcement des relations, dans la répétition et les variations.



Fig. 51 · À gauche, l'œuvre *Stack Traduction: Pile*; agencement équidistant, de Donald Judd (1972)
Fig. 52 · À droite, *Belgica Blue Tin Raster* de Carl Andre (1990)

22 Ce dispositif sera pour nous une inspiration directe dans le cadre d'Articulations. Charles Lenay sera d'ailleurs invité à participer en 2019 à notre Symposium « Virtual Creativity, Collective Realities » et plusieurs échanges auront lieu en 2022 avec lui et son équipe à propos de l'expérience du danseur médian dont nous parlerons plus loin (voir section 3-8).



Fig. 53 - À gauche *Boogie-Doodle*²³ Norman McLaren (1941)

Fig. 54 - À droite *Dance* - Lucinda Childs (1979)

Ce courant trouve ainsi de nombreux représentants, que ce soit dans la peinture et la sculpture avec Carl Andre, Bruce Nauman et Donald Judd, l'animation avec Norman McLaren, la musique avec Terry Riley et Steve Reich, le théâtre avec Samuel Beckett ou encore la danse avec Lucinda Childs.

Plus récemment avec l'émergence de l'art numérique, les travaux précurseurs de Heider et Simmel ou de Johansson trouvent de nouveaux échos avec *Unnamed Sound Sculpture* du collectif Onformative (2012), ou le film *CLINAMEN* de Hugo Arcier (2020). Dans ces vidéos, les mouvements se trouvent dénués de corps, remplacés par des textures complexes ou des points flottants. Seul le mouvement permet de rendre compte de la corporalité et de ses dynamiques, car en pause il n'y est visible que des formes abstraites.

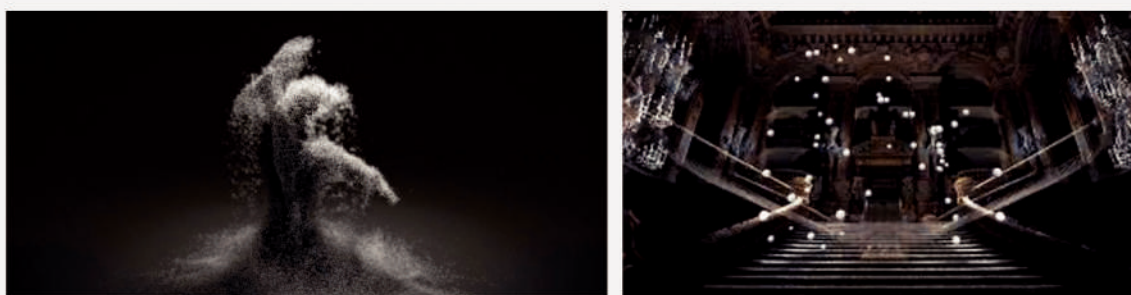


Fig. 55 - À gauche *Unnamed Sound Sculpture*²⁴ (Onformative, 2012)

Fig. 56 - À droite *CLINAMEN*²⁵ de Hugo Arcier (2020),

Utilisant spécifiquement la VR, des travaux artistiques comme *Body RemiXer* (Desnoyers-Stewart et al., 2020), ou des applications grand public comme *Wave VR* (2018) cherchent à faire de la danse désencorporée une expérience temps réel. L'interaction entre avatars minimalistes se développe par le geste des têtes et des mains, que ce soit à la troisième

23 <https://www.onf.ca/film/boogie/>

24 <https://onformative.com/work/unnamed-soundsculpture/>

25 <https://www.youtube.com/watch?v=xOXJl6zD9gw>

personne et par le biais d'écrans interposés, ou en vue subjective, par l'intermédiaire de casques connectés à un réseau en ligne.



Fig. 57 · À gauche, l'installation immersive *Body RemiXer* (Desnoyers-Stewart et al., 2020)

Fig. 58 · À droite, l'application multi-joueur *Wave VR* (2018)

Ces expériences donnent accès à de nouvelles formes d'expérience corporelles, immergées dans des environnements et avatars impossibles. Les relations sociales qui s'en dégagent sont elles aussi chargées de nouveaux possibles.

La RV pour l'étude du mouvement

Pouvant altérer à l'envie les perceptions du corps et du monde, la recherche sur le mouvement relationnel trouve dans les technologies immersives un atout de taille. Les technologies de réalité virtuelle ont en effet été jugées pertinentes et valides par la communauté scientifique, les paradigmes d'étude y étant vus comme hautement écologiques et sans aucune compromission du point de vue du contrôle expérimental (Loomis et al., 1999).

Les systèmes de capture actuels y assurent de plus une mesure satisfaisante des données de mouvement, tout en offrant des configurations portables et reproductibles, adaptables à tous types d'environnements de recherche (laboratoires, workshops, lieux publics).

La RV est enfin un outil tout à fait pertinent pour développer notre approche éactive, les dynamiques interactives y sont en effet au centre des mécanismes de construction de sens (De Loor et al 2014).

La minimalisation de l'information, inhérente aux technologies de réalité virtuelle sert ainsi la recherche comportementale, en offrant un contrôle précis des informations parvenant au système perceptif.

« [En ce qui concerne l'étude sur les dynamiques de coordination et la co-construction de sens,] les approches expérimentales qui minimalisent et contrôlent le couplage sensori-moteur (à la manière des études de croisement perceptuel d'Auvray et al.) sont susceptibles de donner des résultats les plus surprenants »
(De Jaegher and Di Paolo 2007)

Nous présentons donc, dans la prolongation de cette idée, le processus de développement de notre projet *Articulations*, où arts et sciences cognitives se mêlent autour d'une même étude sur la genèse du mouvement collaboratif.

2.3.4 · Co-conception d'un outil d'étude

Forts des différentes influences et références présentées précédemment, nous entreprenons fin 2019 le développement de notre plateforme expérimentale en préconisant un design itératif centré sur la collaboration entre experts du mouvement.

Au cours d'un premier workshop regroupant danseurs, cogniticiens et philosophes, nous proposons une version préliminaire du projet consistant à immerger deux individus au sein d'un même environnement virtuel épuré. Les deux participants se voient mutuellement sous la forme de trois sphères blanches correspondant aux points de leur tête et de leurs mains (Fig. 59).

Quelques variations de conditions visuelles sont également proposées, remplaçant par exemple la perception des mains par des traînées de couleur, permettant de visualiser la trace du geste pendant quelques secondes.

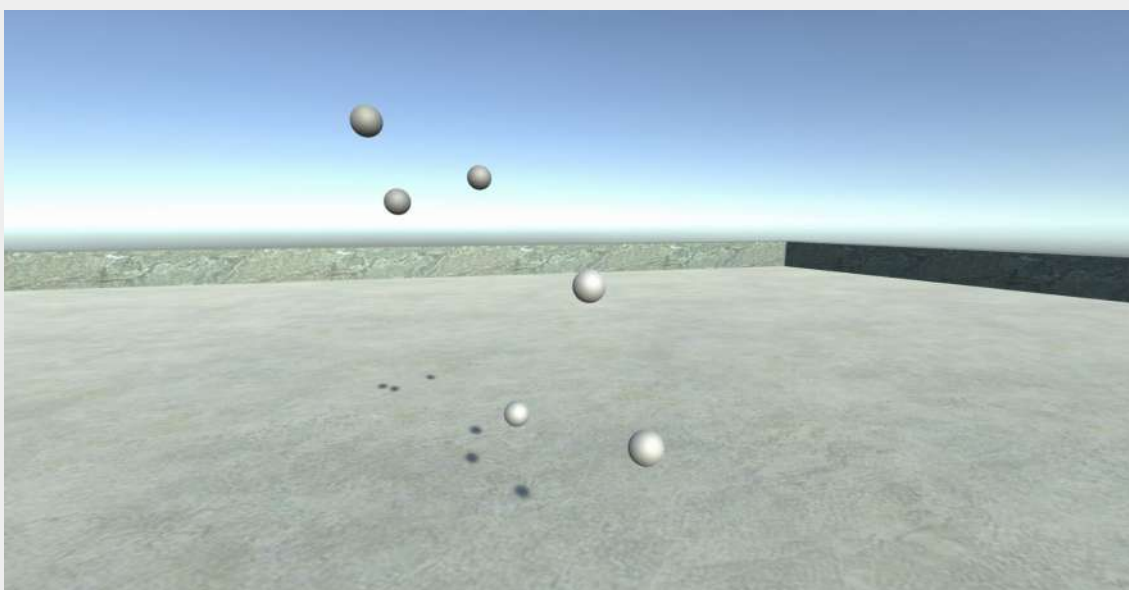


Fig. 59 · L'environnement visuel d'Articulations où deux participants interagissent chacun avec les trois sphères en mouvement du partenaire

Équipés de casques et contrôleurs HTC Vive et développant la plateforme grâce au logiciel Unity3D, nous pouvons tester et itérer facilement des éléments de design, tenant compte des points de vue et suggestions de chacun (Fig. 60).

Cette facilité à faire évoluer le système nous permet d'intégrer les différents participants dans le processus de design, les amenant à expérimenter leurs idées et à nous formuler leurs retours sur les expériences et sensations éprouvées.

Nous modulons ainsi à travers plusieurs modalités relatives à la perception de soi, de l'autre ou de l'environnement général, tout en tenant compte de leurs suggestions et envies.

Les couples formés et le temps d'exploration sont libres et à la volonté des danseurs. Nous décidons simplement de changer parfois les conditions visuelles sans les prévenir.



Fig. 60 · Le premier workshop dans un studio de danse à Mériel

L'enthousiasme manifeste des participants est encourageant, pourtant l'aspect technique est unanimement vécu comme contraignant. Les participants sont alors reliés aux ordinateurs par un fil et tiennent les contrôleurs Vive dans les mains, ce qui a tendance à fermer les mouvements du corps.

Dans un second workshop nous décidons de remplacer les contrôleurs par des trackers disposés sur des bracelets, les mains sont alors plus libres et les mouvements plus amples, plus expressifs (Fig. 61).



Fig. 61 · Le second workshop au centre CNRS Pouchet

Les chocs inattendus des corps lors des mouvements rapprochés créent des dissensus. Une sensation de toucher l'autre ne correspond pas à ce qui est proposé visuellement, ce qui nuit à l'immersion globale et à l'expressivité gestuelle.

Nous explorons donc la possibilité pour les participants d'évoluer ensemble dans un même espace virtuel tout en étant séparés dans l'espace physique (Fig. 62).

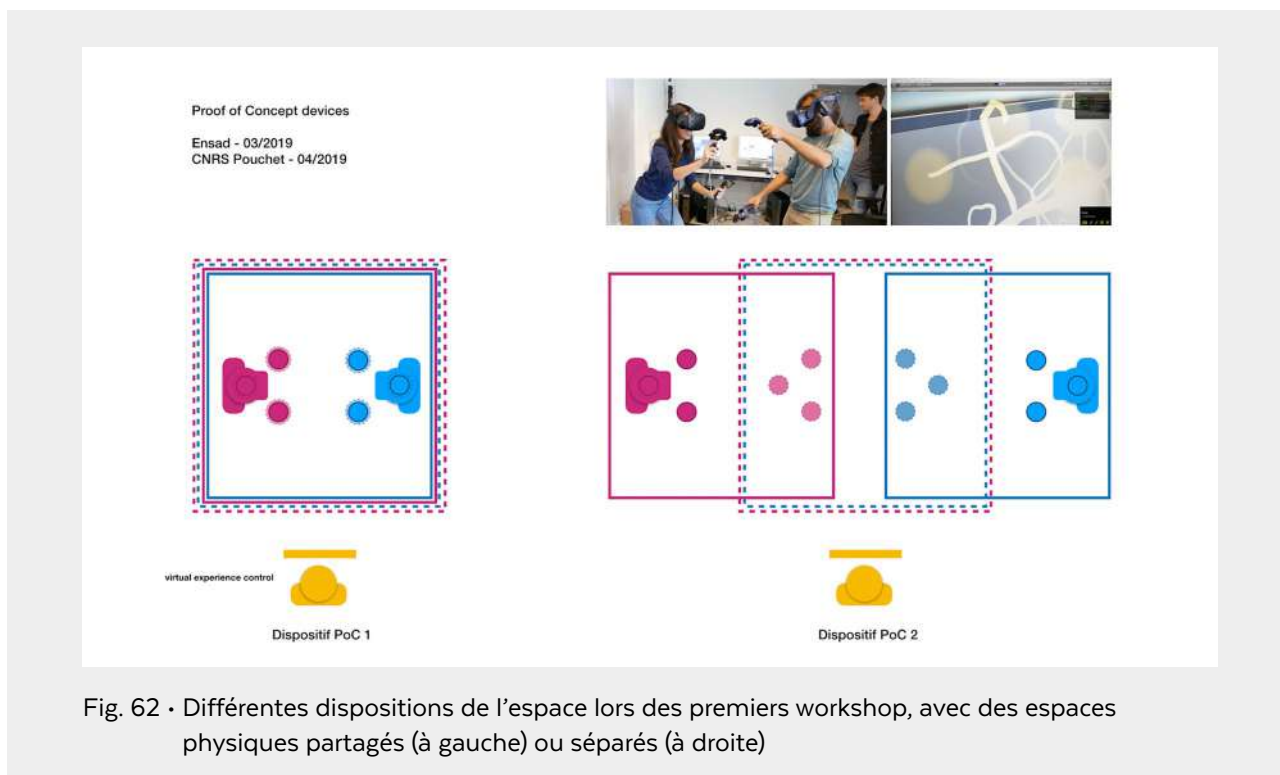


Fig. 62 · Différentes dispositions de l'espace lors des premiers workshop, avec des espaces physiques partagés (à gauche) ou séparés (à droite)

Nous devenons nos propres sujets d'expérimentation. Nous soumettons nos réflexes à des stimuli de manière que notre conscience puisse les voir sursauter (Paxton, 1993).

« La danse contact ne permet pas les spectateurs neutres » (Shibolet 2018)

Reprenant à la danse contact ses traditions, chacun passe tour à tour de spectateur à immersant, afin de pouvoir mesurer ses suggestions à l'angle de ces différents points de vue. Les moments de discussions après chaque phase de test nous permettent ainsi de comprendre ce qui se joue, tant pour les corps physiques que pour ces êtres faits de sphères en mouvement.

Ces moments d'échange sont les étapes clés du design de notre prototype, nous y collectons un ensemble de pistes pour favoriser l'enrichissement de la relation. Les citations qui suivent proviennent de notes prises tout au long de deux workshops. Elles sont réorganisées par catégories, sans distinction parmi leurs auteurs.

Tous avaient une expérience de la danse mais pour la plupart l'expérience de la VR était nouvelle ce qui peut nous inviter à nuancer leurs propos.

Certaines citations ciblent la perception de soi et les sensations ou stratégies qui en émergent.

- Mon rapport au poids a changé, les balles paraissaient si légères

- J'ai progressivement perdu la conscience de moi-même

- J'essayais d'imaginer le corps de l'autre, de le modeler afin de pouvoir le visualiser

- Je ne voyais pas une personne mais un objet, une forme, une métaphore

- Nous étions à nouveau des bébés, devant recréer nos stratégies de communication

Lorsque les conditions visuelles changeaient, il était fréquent de voir des changements radicaux dans les qualités de gestes des participants, une observation confirmée par certains commentaires.

- Avec les sphères, j'explorais les frontières de l'autre, mais avec les traînées j'explorais plus mon propre mouvement

- Quand je ne vois pas mes mains mais celles de l'autre on est en miroir, on essaie d'induire chez l'autre un mouvement. Quand je vois mes sphères et celles de l'autre on crée davantage des motifs géométriques, on se complète. Quand j'ai des traînées, on fait de la peinture, l'expérience est plus personnelle et moins dans l'interaction.

- Il y a toujours deux moments avec les traînées, on dessine puis on regarde, l'expérience n'est pas centrée sur le présent ni sur notre unité (togetherness).

De nombreuses propositions visuelles ont également été formulées. L'apparente facilité de faire évoluer le design rendait en effet les danseurs enthousiastes et désireux de tester de nouvelles conditions expérimentales.

- Voir l'autre' ou la 'relation' comme un facteur atmosphérique : on ne voit plus son mouvement mais la traduction de sa présence/mouvement et de notre relation par des changements dans le paysage sonore/visuelle (co-présence ressentie)

- Un corps élastique, voir le corps s'étendre, avoir les balles bien plus loin avec les bras tendus

- Changer de point de vue (voir ce que voit l'autre, se mettre à la place de son torse, ou à la 3e personne)

- Brancher les battements du corps pour générer des biofeedbacks, pour réduire le stress ou générer du contenu sémantique.

- Avoir les contrôleurs non pas dans les mains mais à d'autres positions du corps est très intéressant. Dans les mains, on se met en état figuratif, agentif. Sur le reste du corps, l'action est moins intentionnelle / volitive.

De ces différentes expériences a pu émerger un ensemble de principes de design qui a été central et que nous avons pu formaliser sous le nom de réalité diminuée partagée, je vais prendre le temps d'en décrire ici les idées centrales.

2.3.5 · La réalité diminuée partagée (SDR)

L'intrigue développée au cours des précédents workshops et l'effet manifeste que la diminution des corps provoque sur la créativité et l'expressivité nous a conduits à proposer une conceptualisation plus détaillée de ces différents choix de design et leur impact sur l'expérience virtuelle générale.

Décrite en détail dans notre article commun Vuarnesson et al. (2021), la Réalité Diminuée Partagée (SDR pour *Shared Diminished Reality*) regroupe différents principes facilitant la coordination par le geste et l'apparition de phénomènes de Flow collectif.

Premièrement elle se focalise sur une minimalisation des contraintes techniques, pour garantir une forte immersion et faciliter l'émergence de ces stratégies de mouvement collaboratif. En remplaçant les contrôleurs Vive par des *trackers* montés sur bracelets, le mouvement des mains reste libre tout en permettant la collecte et la restitution précises des mouvements dans l'environnement virtuel. Conscients de la contrainte engendrée par la présence d'un câble relié aux ordinateurs de rendu, nous y préconisons également l'usage d'un système sans fil monté sur la tête, permettant ainsi de se déplacer aisément dans l'espace physique. Enfin et pour éviter les chocs entre les participants, nous les plaçons dans deux espaces physiques distincts alors même qu'ils partagent un même espace virtuel (Fig. 62). Ainsi l'un et l'autre peuvent bouger librement, parfois même l'un à travers l'autre, sans craindre de collisionner avec un segment corporel non vu (ce type de dissensus étant évidemment néfaste à l'immersion et à l'expression créative).

Une fois libérés de ces contraintes techniques, nous proposons une facilitation de l'émergence de la coordination par le retrait de tous les signes pouvant influencer le rapport social. Réduits à un ensemble d'objets minimalistes synchronisés avec leurs mouvements, les participants ont une expérience corporelle et une présence différentes au monde. Du fait d'être identiques l'un à l'autre, ils ne sont plus soumis aux stéréotypes véhiculés par d'éventuelles distinctions de genre, d'âge, de corpulence ou de milieu social. La proximité visuelle et la simplicité de leurs apparences les amènent donc à construire ensemble toutes les règles qui vont régir le déploiement de leur interaction créative.

L'environnement minimaliste et l'absence de consignes assurent finalement aux partenaires de comprendre rapidement leurs champs d'action. Les avatars en mouvement sont les seuls objets d'intérêt et, étant exemptés de toute tâche à accomplir, les immersants peuvent se focaliser pleinement sur l'exploration de leur propre agentivité sur le mouvement du partenaire.

Cet aspect minimaliste n'est pas simplement une diminution du corps mais plutôt sa substitution par quelque chose de suffisamment simple pour que l'imaginaire collectif puisse s'en emparer. La SDR se veut un équilibre entre une minimalisation des informations transitant par le système, et un choix propice quant à la manière de les représenter, afin de garantir le sentiment de coprésence et l'expressivité créative. La boucle sensori-motrice est plus légère et transparente, elle peut ainsi favoriser l'apparition d'un flow collectif, comme défendu par Csikszentmihalyi (1997).

Détaillons à présent les contours de notre plateforme expérimentale, ayant permis notre instanciation d'une SDR.

2.3.6 · Notre plateforme expérimentale

Développée au cours et pour les différents workshops de ce processus de recherche-création, la plateforme du projet s'est toujours vue destinée à garder un aspect éditable, facilement itérable pour pouvoir tester rapidement les idées de design provenant de ces phases exploratoires.

La plupart des modules furent développés sur-mesure, préférant garder un accès et une capacité d'édition de chaque variable plutôt que de reposer sur des outils tiers plus limités.

L'interface immersive

Du point de vue du système technique nous avons choisi d'utiliser des casques HTC Vive Pro Eye offrant un rendu graphique de 1440x1600 pixels pour chaque œil au sein d'un champ de vision de 110° (environ 90° par œil). Le système de capture (Fig. 63) permet d'enregistrer les informations de position et d'orientation à une vitesse de 60 images par seconde.



Fig. 63 · Le casque Vive Pro Eye et les capteurs de position/orientation

Le choix des capteurs s'avère à l'usage plus permissif et plus naturel, moins nuisible à l'immersion et à l'apparition d'états de Flow (Kitson et al. 2018).

Du point de vue de l'interface, un moteur multi-utilisateur fut développé sur-mesure grâce au protocole OSC, permettant de relier de multiples clients à un même serveur. Ce choix de design, en plus de nous rendre indépendant de l'usage d'outils tiers, permet de garder un aspect personnalisable au projet et d'inclure plus facilement d'autres développeurs dans les phases ultérieures de co-conception et de workshops.

Optimisé pour l'immersion de deux personnes disposant de trois capteurs corporels, le projet fonctionne grâce à la connexion de trois instances du programme en parallèle (Fig. 64).

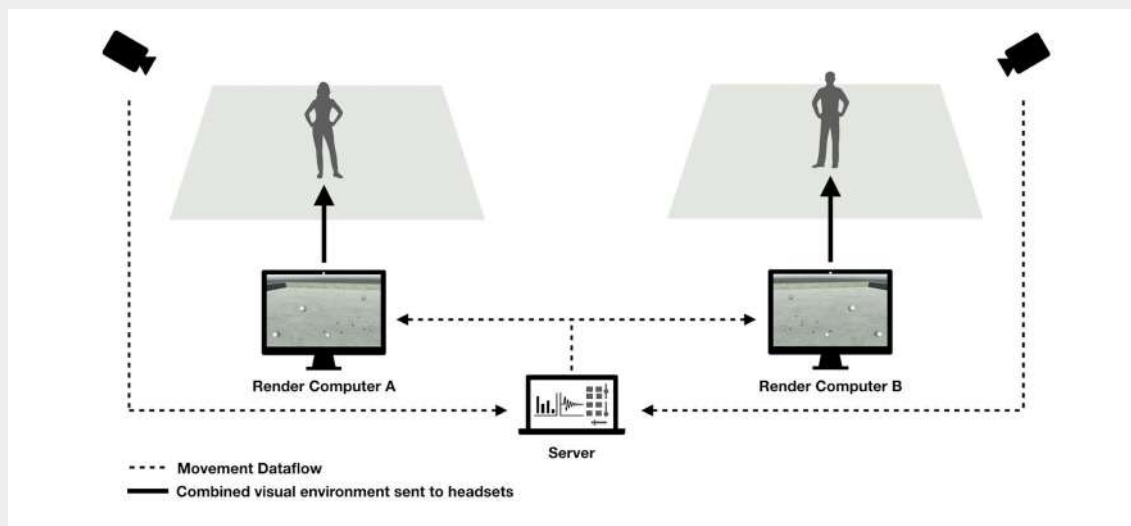


Fig. 64 · L'architecture de la plateforme

L'une d'entre elles joue le rôle du serveur et se charge de synchroniser les clients entre eux. Elle récolte les informations de positions et d'orientation, les enregistre dans des documents CSV, et les diffuse en même temps sur l'ensemble du réseau.

Proposant une interface contrôlable, le serveur permet également d'agir de multiples manières sur la scène virtuelle (Fig. 65), comme effectuer des changements de décor, d'apparence corporelle, de lancer un scénario préenregistré et de lancer l'enregistrement de la performance.

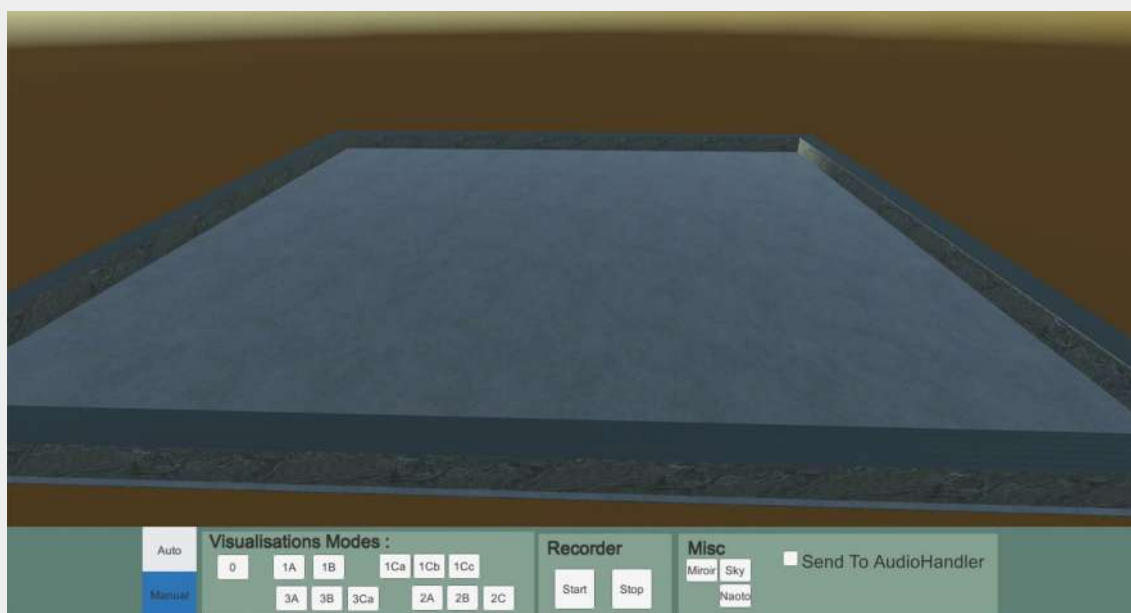


Fig. 65 · L'interface de l'instance serveur, une caméra virtuelle permet de visualiser la scène tout en manipulant les conditions d'expérimentation

Les instances supplémentaires sont celles des clients qui se chargent d'envoyer au serveur leurs informations de mouvement tout en calculant le rendu actualisé de la scène en réalité virtuelle.

Des instances supplémentaires peuvent être connectées, permettant à des observateurs extérieurs de visualiser la scène à partir de leur propre interface (ordinateur portable ou tablette Android).

Les modes de visualisation

L'environnement visuel fut gardé le plus simple possible. Ici un ciel bleu infini surplombe une arène marbrée. Un soleil permet aux objets présents de générer des ombres au sol. Ce choix de design fait rapidement comprendre aux participants que rien d'autre que le mouvement n'est à explorer.

Diverses conditions visuelles issues des différents workshops ont été optimisées pour pouvoir être lancées successivement au cours des scénarios préétablis.

Une première condition constitue la base de l'expérience et consiste à remplacer les trois points capturés par des sphères blanches de même taille. Le point de vue est placé au niveau de la tête, ne permettant de voir que les mains et les trois ombres portées au sol (Fig. 66).

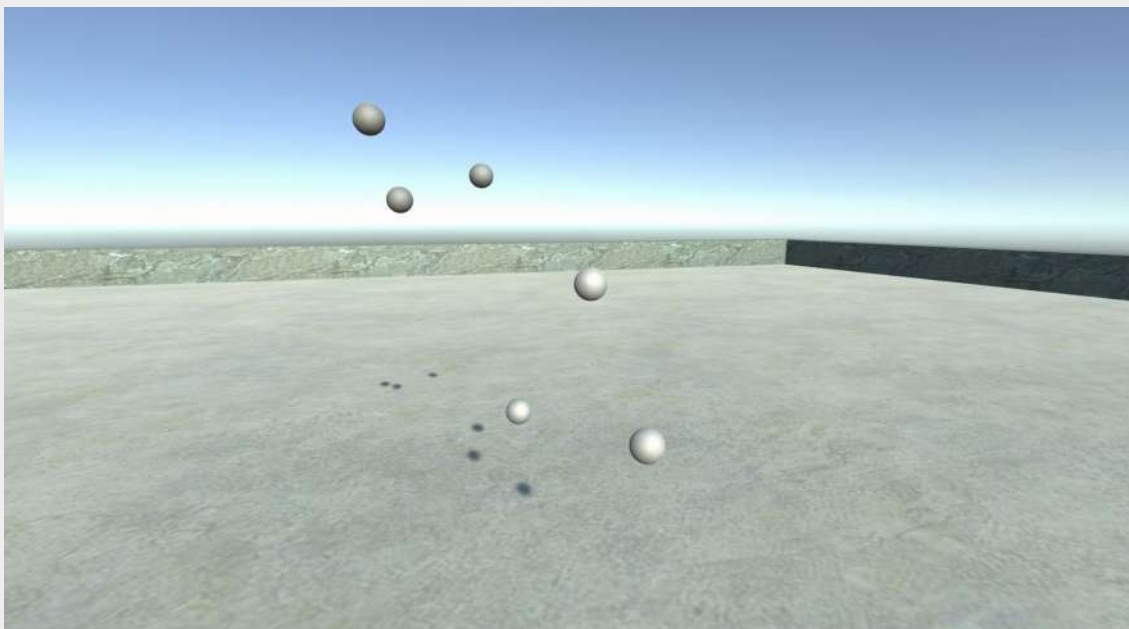


Fig. 66 · Vue à la troisième personne de la condition de base

D'autres variations sont proposées, parmi elles une condition « No Hand » où chaque participant ne voit plus ses propres mains mais voit les trois sphères du partenaire, une condition « Miroir » où un miroir virtuel permet aux participants de voir leur propre reflet (Fig. 67), et une condition « Miroir + couleurs » où, en plus du miroir, chaque participant voit les sphères du partenaire prendre une couleur bleutée (Fig. 68).

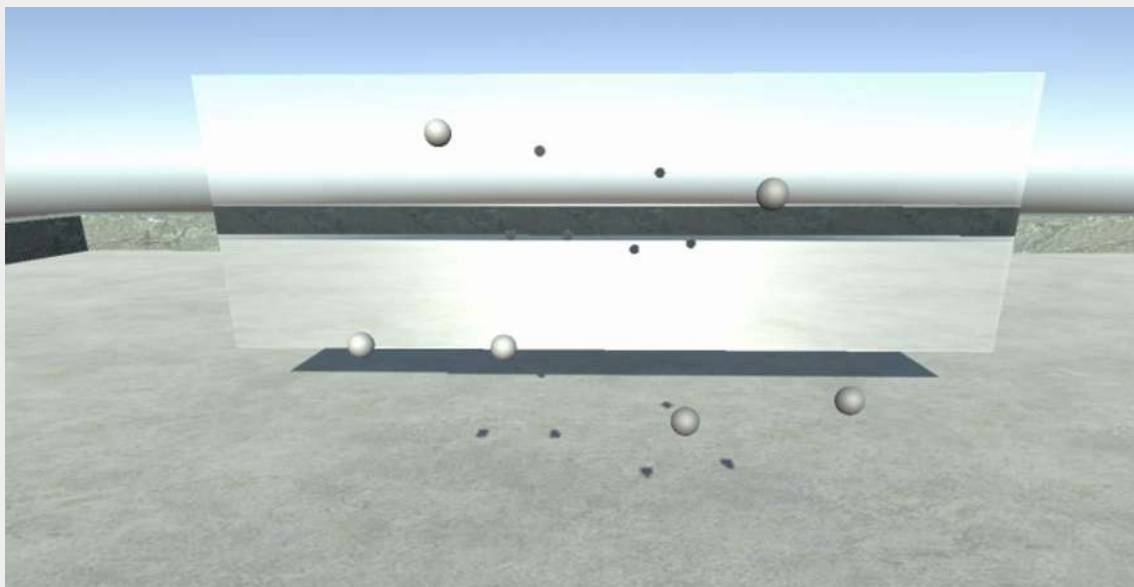


Fig. 67 · La condition « Miroir »

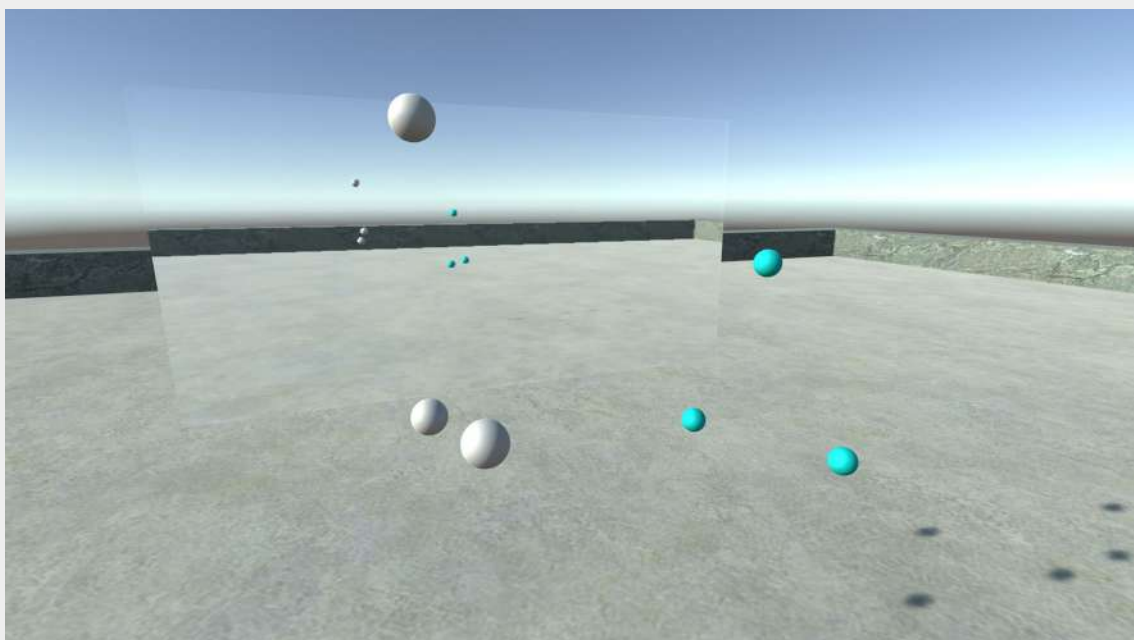


Fig. 68 · La condition « Miroir + couleur »

D'autres conditions plus esthétiques furent développées et utilisées dans le cadre de la performance *Articulations*, détaillée plus loin dans ce chapitre (Fig. 69 et Fig. 70).

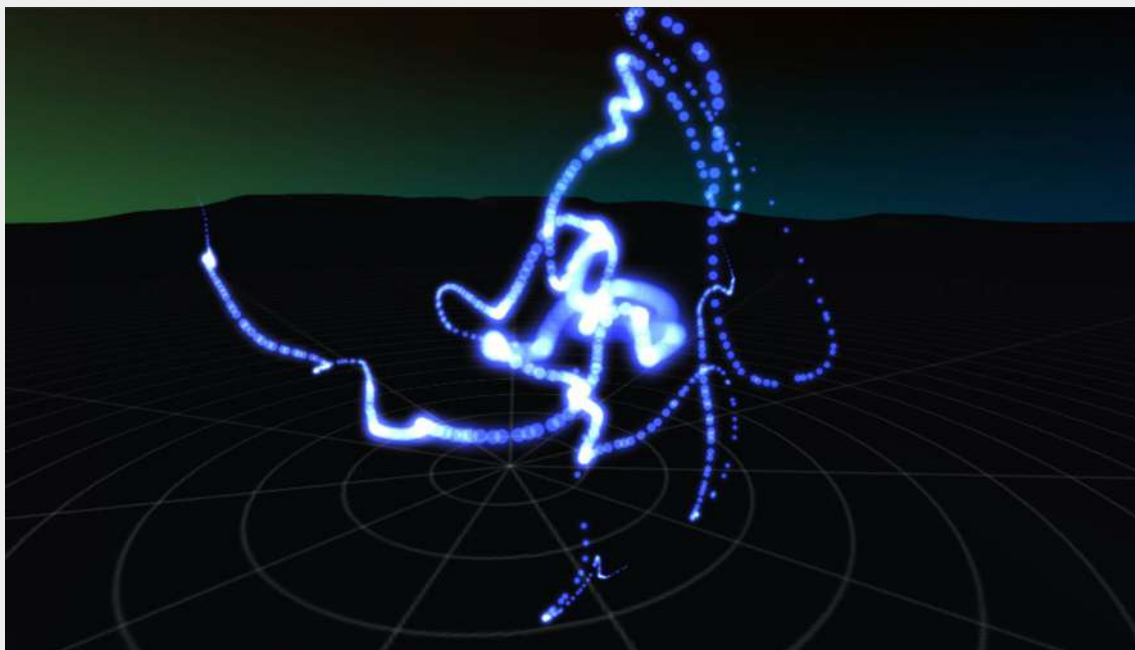


Fig. 69 • Une modalité faite de traînées visuelles, dans un décor plus sombre

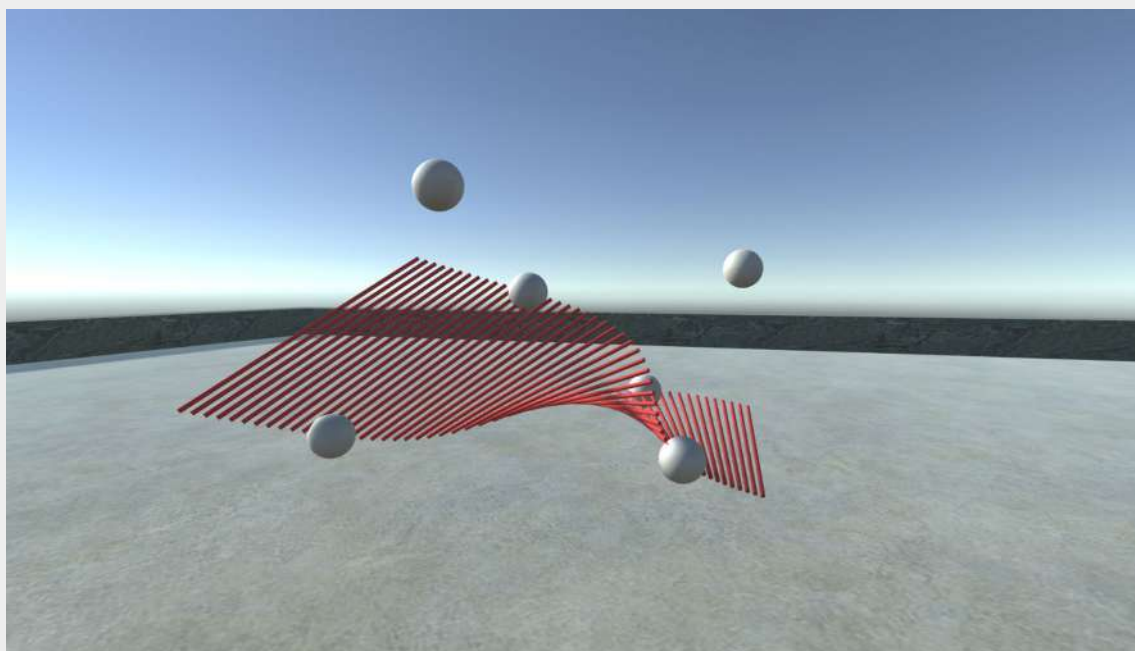


Fig. 70 • Une condition où les mains des participants sont reliées par un objet abstrait et déformable, connectant visuellement leurs mouvements

Deux phases de collecte de données ont été réalisées, dans des contextes expérimentaux tout à fait différents. Le premier eut lieu à la Tate Modern Gallery de Londres lors d'un week-end de rencontre entre chercheurs spécialistes de l'étude du geste et les visiteurs du musée, le second eut lieu au centre CNRS Pouchet à Paris.

Nous décrivons plus loin les protocoles qui ont été conçus spécialement pour ces deux phases expérimentales, et qui ont conduit ensuite à l'écriture de deux articles (Laroche et al. 2021; Vuarnesson et al. 2021).

2.3.7 • Une preuve de concept à la Tate Modern

La première présentation publique du dispositif s'est déroulée à la TATE MODERN dans le cadre du workshop MOVING HUMANS, organisé en collaboration avec le groupe de recherche CREATE de l'Université de Londres²⁶.

Cette rencontre a eu lieu les 22 et 23 Juin 2019 et a pu nous donner une occasion de laisser un public non familier de la danse ou des technologies immersives s'emparer de notre dispositif, présenté ici comme une preuve de concept (Fig. 71).



Fig. 71 • Deux participants sont plongés dans l'expérience interactive

Le fait particulier de le présenter dans un musée nous a amenés à créer un protocole expérimental adapté à la situation qui est couvert en détail dans Laroche et al. (2021).

²⁶ CREATE propose des rapprochements entre le grand public et les mondes des sciences cognitives ou des neurosciences, via l'organisation d'ateliers et de rencontres entre artistes, chercheurs et performers. MOVING HUMANS était ici centré sur une étude entre mouvement et perception. Lien explicatif: <https://www.tate.org.uk/whats-on/tate-modern/moving-humans>

Outre le fait de rendre publique la recherche et d'amener le grand public à découvrir nos questions de recherche, la fluctuation des gens était plutôt laissée au hasard et nous ne savions pas quelle sociologie de visiteurs nous allions intégrer dans l'expérience.

Nous avons proposé aux participants de constituer eux-mêmes leurs dyades, se rencontrant sur place par le hasard d'un agenda mutuel, ou demandant spécifiquement à faire l'expérience ensemble à un créneau horaire laissé vacant.

Équipés par nos soins, les participants étaient ensuite immergés dans l'expérience sans consigne préalable et ce durant 9 minutes, exécutant un scénario prédéfini combinant au choix trois conditions visuelles liées à la visualisation corporelle ou à la présence d'un miroir.

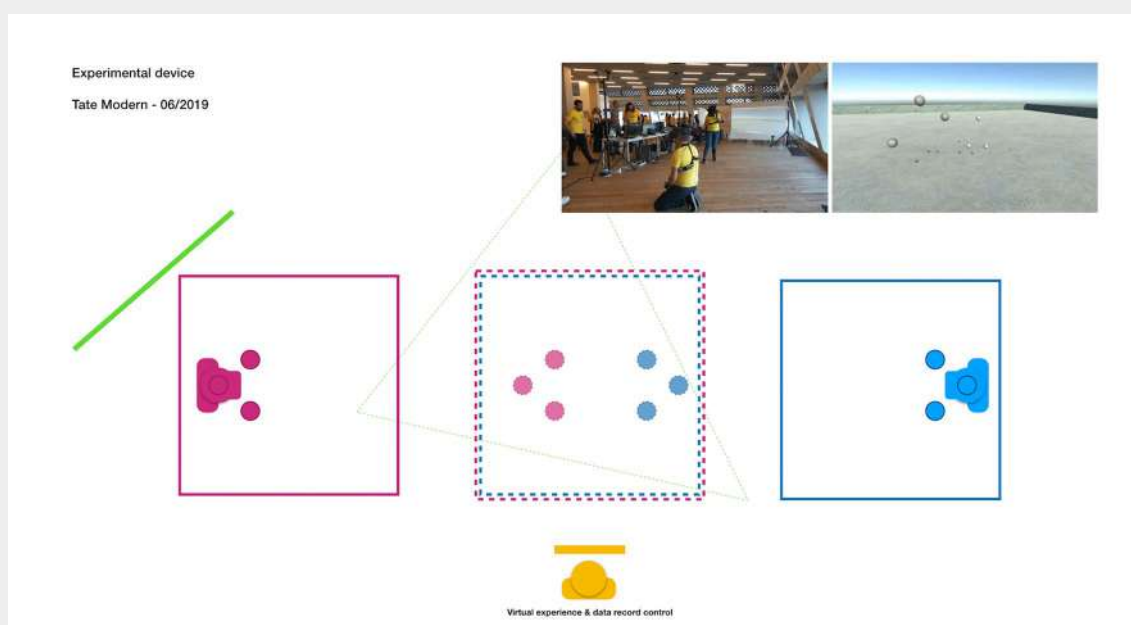


Fig. 72 • Schéma de la configuration de la scène, les deux participants sont séparés physiquement mais partagent le même environnement virtuel

Nous avons utilisé pour cela la configuration ci-dessus (Fig. 72), où les deux participants étaient placés chacun dans un carré physique différent mais partageaient le même espace virtuel. Afin de rendre compte de l'expérience aux visiteurs extérieurs, nous diffusions au même moment un rendu à la troisième personne de la scène grâce à un vidéoprojecteur dirigé vers un écran blanc.

À la fin de la performance, les participants se retrouvaient seuls dans l'environnement virtuel, et étaient invités par une voix provenant du casque à verbaliser à voix haute leurs expériences et sensations. Leurs messages verbaux étaient alors enregistrés, puis au bout de quelques dizaines de secondes la voix leur confirmait que l'expérience était terminée. Cette approche visait à permettre aux utilisateurs de parler de leur expérience tout en y étant encore plongé. Mener une interview encore en immersion permet en effet de minimiser l'effet brutal de la sortie de l'expérience et d'atteindre des niveaux plus profonds de témoignages (Prpa et al. 2020).

S'en suivait alors le remplissage d'un questionnaire plus approfondi puis la réalisation d'une interview filmée dans une salle annexe.

Le contexte public du musée, lié à l'apparition de problèmes techniques dus aux interférences des dispositifs WIFI permet de ne collecter que onze performances, réunissant vingt-deux participants.

Une analyse quantitative des données de mouvement fut ensuite réalisée et peut-être lue dans Laroche et al. (2021). Elle montre par exemple que la suppression du feedback visuel du mouvement (condition « No Hand ») tend à améliorer la coordination des mouvements et la sensation de proximité avec le partenaire. Les participants ayant bougé plus lentement que les autres dyades rapportent s'être sentis plus proche que les autres dans leurs témoignages, corroborant avec les résultats exprimés dans Soliman et al. (2015).

Je propose à présent de revenir sur une sélection de citations et notes issues des questionnaires et des interviews, afin de venir appuyer nos choix de design et les contextualiser à mon propre sujet d'étude.

2.3.8 · Analyse de l'expérience vécue

Une série de questions a été posée aux participants, à laquelle ils pouvaient répondre via une échelle de Likert sur sept points (0 voulant dire que le participant n'adhérait pas du tout à la proposition, et 6 pour au contraire manifester son total accord).

Ces résultats ont été filtrés pour ne garder que les notes des participants ayant vécu l'expérience complète.

Affirmation	Moyenne	Écart-type
J'ai trouvé cet espace visuel silencieux très séduisant	4,05	1,47
Je me suis souvent retrouvé « hors » de l'expérience de réalité virtuelle. Mon attention s'est portée sur des éléments du monde réel en dehors de la réalité virtuelle	1,14	1,56
Mes mouvements étaient fluides et doux	4,05	1,25
Le minimalisme de l'installation m'a rendu étonnamment plus curieux et exploratif	3,82	1,56
J'ai eu une agréable sensation de légèreté	3,60	1,84

Table 2 - Notes données par les participants sur l'immersion globale

Affirmation	Moyenne	Écart-type
Mon attention était focalisée sur la relation entre nos mouvements	4,32	1,62
Les connexions et les interactions avec mon partenaire se sont produites facilement et très naturellement	3,23	1,80
Je pense que mes mouvements étaient motivés par ce que je pensais que l'autre personne percevait	3,55	2,02
Je pense que mon partenaire n'a pas apprécié l'expérience	2,00	1,66
J'ai souvent senti mes mouvements et ma créativité limités par la présence de l'autre	1,45	1,63
J'étais souvent celui qui initiait les interactions avec mon partenaire	3,55	1,68

Table 3 - Notes données par les participants sur la relation avec le partenaire

Globalement les participants rapportent une immersion sensorielle suffisante pour pouvoir se focaliser sur l'exploration de leur mouvement et sur la relation en construction.

Malgré l'ambiance sonore et le passage de nombreuses personnes dans les lieux de l'étude, les participants n'ont pas semblé perturbés dans leur expérience.

Certains commentaires expriment une forme d'émerveillement face à l'environnement minimaliste.

« Avoir le dos au soleil et voir les projections de mon mouvement sur le mur était très beau »

« Le silence et l'espace étaient très satisfaisants »

« C'était charmant, absolument charmant et paisible »

Les sensations corporelles génèrent également quelques commentaires enthousiastes

« Il est intéressant de s'imaginer comme une forme. Et à quel point cela devient réel lorsque vous imaginez quelqu'un d'autre derrière la forme »

« Ces deux boules - mes petites lunes. J'avais l'impression de déplacer des planètes avec mes bras. »

« L'expérience a été incroyable, c'était comme un court laps de temps à l'intérieur mais long à l'extérieur. »

En ce qui concerne la relation avec le partenaire, les participants expriment une forme de circonspection et de déroutement.

« Quand mon partenaire est apparu, je me suis demandé s'il cherchait à entrer en compétition avec ce que je faisais ou s'il me copiait »

« J'ai mis du temps à réaliser que c'était elle. Je n'étais pas sûr de ce que j'étais censé faire. »

« Au début, je n'étais pas sûr que ce soit toi. Mais quand tu as commencé à bouger, j'ai su... tu sais, certains comportements... comme la boxe. J'essayais de communiquer avec toi et de synchroniser nos mouvements »

« Parfois j'avais l'impression d'interagir avec un avatar qui copiait simplement mes mouvements, agrémentés d'un peu de bruit. C'était étonnamment interactif »

Certains encore expriment quelques formes de désorientation ou d'anxiété.

« À un moment donné, je n'avais plus de mains. Je ne pouvais plus du tout communiquer avec l'autre, j'essayais. J'ai essayé d'utiliser mes bras mais il n'y avait pas de balles. Cela m'a rendu anxieux. Parce que je voulais dire quelque chose. »

« Ce n'était pas mon corps, je me sentais un peu piégé. »

Des expériences singulières

Une expérience singulière me semble intéressante à partager, éclairant davantage sur le type d'expériences pouvant être vécues en SDR.

Les participants sont un couple marié de 58 (M14e) et 46 ans (M14p) se présentant ensemble pour réaliser l'expérience. Ils nous disent avoir une expérience très limitée de la danse et testent la réalité virtuelle pour la première fois tous les deux.

Observant le calme avec lequel ils bougent durant toute l'interaction, et voyant l'expression émue du visage de M14e en lui enlevant le casque, il est alors clair pour moi qu'il a vécu une expérience très forte. Les deux participants donnent en effet des notes assez similaires sur la qualité d'expérience vécue.

Affirmation	M14p	M14e
J'ai trouvé cet espace visuel silencieux très séduisant	6	6
Je me suis souvent retrouvé « hors » de l'expérience de réalité virtuelle. Mon attention s'est portée sur des éléments du monde réel en dehors de la réalité virtuelle	1	0
Dans l'expérience de réalité virtuelle j'ai senti que j'étais plus que mon moi habituel	4	6
Mes mouvements étaient fluides et doux	6	6

Les connexions et les interactions avec mon partenaire se sont produites facilement et très naturellement	6	6
J'aurais aimé que l'expérience dure plus longtemps	6	6
J'étais plus conscient que d'habitude de ce qui se passait à l'intérieur de mon corps	5	4
Je n'avais pas vraiment l'impression que mon partenaire répondait aux propositions que je faisais	1	0
Je pense que mon partenaire n'a pas apprécié l'expérience	0	0
J'ai souvent senti mes mouvements et ma créativité limités par la présence de l'autre	0	0
Le minimalisme de l'installation m'a rendu étonnamment plus curieux et exploratif	6	6

Table 4 - Quelques notes similaires données par la dyade M14p / M14e

Toutes ces notes montrent à priori une forte connexion entre les deux participants, l'un et l'autre se sont sentis en cohésion et ont pris du plaisir dans l'interaction.

M14p

L'expérience était très paisible et joyeuse.

M14e

D'habitude je ne danse pas, mais là je n'avais plus conscience de moi-même, j'étais dans un autre monde.

Pourtant, à la lumière de certains témoignages et réponses au questionnaire, il apparaît que l'expérience vécue a été très différente pour l'une et l'autre. Certaines affirmations montrent en effet une différence certaine dans l'interprétation de la relation.

Affirmation	M14p	M14e
Durant mon exploration avec les sphères j'ai oublié qu'elles avaient à voir avec mon partenaire	6	0
Mon attention était focalisée sur la relation entre nos mouvements	1	6
J'ai trouvé que l'installation limitait les potentiels de mon mouvement	4	0
Je pense que mes mouvements étaient motivés par ce que je pensais que l'autre personne percevait	0	6
J'étais souvent celui qui initiait les interactions avec mon partenaire	0	4

Table 5 - Quelques notes opposées données par la dyade M14p / M14e

M14e exprime ici un positionnement radicalement différent de celui de sa partenaire, rendant compte d'une expérience totalement dédiée à elle, à leur relation, à la personne derrière le casque et à une projection dans leur histoire conjointe. Elle, en revanche, semble assez surprise du degré d'émotion dont il témoigne. Elle ne donne comme anecdotes que des éléments relatifs à l'espace environnant, à ses sensations corporelles, au jeu qu'ils ont développé.

M14p

As-tu essayé de passer à travers la grille ? (En référence aux délimitations de l'espace)

Je pouvais passer à travers tes sphères, c'était drôle.

M14e

"J'ai trouvé cette idée de communiquer non verbalement très forte et déstabilisante. C'était une expérience très émouvante"

"Je me suis senti en harmonie avec elle."

Il se tourne vers elle :

M14e

"J'aurais aimé passer plus de temps dans ce monde avec toi."

"Je me suis senti plus proche de toi que les jours passés, comme si nous étions réduits à notre essentiel. Un essentiel fait de soutien et de collaboration."

Nous y voyons ici un biais d'intentionnalité, faisant écho aux travaux de Heider et Simmel (1944). L'un des participants a développé une histoire forte, centrée sur leur complicité, là où sa partenaire était davantage dans une expérience personnelle, tournée vers ses propres sensations et amusements.

L'usage du minimalisme et de la SDR pour la création d'un narratif précis et partagé s'avère ainsi compliqué. En revanche il est intéressant de noter que les deux participants ont pu chacun vivre une expérience plaisante et créative, malgré la divergence du sens construit à travers l'interaction²⁷.

Ces premiers résultats confortent donc sur la possibilité de la SDR à permettre l'engagement mutuel dans une interaction sociale complexe et inédite.

Au cours des interviews, les participants ont pu donner des explications à leurs actions et rappeler le cours de l'expérience vécue, usant de métaphores géométriques (alignements, triangles, pendules, planètes) et de dynamiques gestuelles (rebonds, boxe).

Notre instanciation de la SDR semble ici donner aux participants une certaine aisance à se mettre en mouvement, leur permettant de construire un langage qui leur est propre.

La dernière performance analysée et le biais intentionnel qu'elle révèle montrent en revanche la possibilité pour deux participants de vivre une expérience radicalement différente. Ces

²⁷ La vidéo de leur interview peut être visionnée ici : <https://vimeo.com/363260149>

résultats nous invitent donc à chercher d'autres indices dans le mouvement partagé pour extraire du sens de la relation et de l'expérience vécue.

2.3.9 · Expérimentation au centre CNRS Pouchet

Une deuxième phase expérimentale a eu lieu au centre CNRS Pouchet les jeudi 24 et vendredi 25 octobre 2019 avec un protocole réadapté pour l'occasion.

Une invitation fut rendue publique sur un réseau social, proposant de venir explorer le mouvement partagé en réalité virtuelle. Un lien vidéo vers le teaser de notre expérience à la Tate y fut joint, mais aucune explication supplémentaire ne fut donnée.

Sur l'ensemble des participants ayant répondu, 42 furent sélectionnés pour participer sur les deux jours.

À la différence de l'expérience à la Tate Modern, le lieu se prêtait parfaitement à l'enchaînement des dyades et nous permis de récolter davantage de données.

Une différence notable supplémentaire était que les participants avaient des créneaux horaires attribués, et qu'il leur était impossible de voir l'expérience faite par d'autres participants avant la leur. Si certains avaient déjà pu essayer les premiers prototypes, notamment dans le cadre des workshops publics, la grande majorité découvraient complètement le projet à cette occasion.

Typologie des participants

Les participants furent accueillis tout au long des deux jours, sans se connaître au préalable. Un questionnaire préalable put collecter quelques informations à leur sujet, notamment sur leurs rapports à la réalité virtuelle et à la danse. À la différence de l'expérimentation à Tate, la plupart d'entre eux avaient une déjà une expérience de ces deux types d'activités (Table 6).

Votre numéro sujet	Mon expérience avec la danse	Pratique RV
11	Quelques cours	Quelques expériences
12	Quelques cours	Aucune expérience
13	Pratique régulière de la danse	Aucune expérience
14	Danse sociale, Psychomotricien	Aucune expérience
15	Danse sociale	Aucune expérience
16	Danse sociale	Aucune expérience
17	Quelques cours	Quelques expériences
18	Pratique régulière de la danse	Aucune expérience
19	Danseur professionnel	Aucune expérience
20	Pratique régulière de la danse	un/e habitué/e
21	Quelques cours	Aucune expérience
22	Pratique régulière de la danse	Aucune expérience

23	Pratique régulière de la danse	Quelques expériences
24	Pratique régulière de la danse	Quelques expériences
25	Danseur professionnel	Quelques expériences
26	Quelques cours, Pratique régulière de la danse	Aucune expérience
27	Quelques cours, Danse libre	Aucune expérience
28	Rares expériences	Quelques expériences
29	Danseur professionnel	Aucune expérience
30	Quelques cours	Aucune expérience
31	Danseur professionnel	Quelques expériences
32	Pratique régulière de la danse	Quelques expériences
33	Quelques cours	Quelques expériences
34	Danse sociale	Quelques expériences
35	Danseur professionnel	Aucune expérience
36	Pratique régulière de la danse	Aucune expérience
37	Pratique régulière de la danse	Aucune expérience
38	Danseur professionnel	Aucune expérience
39	Danse sociale	Quelques expériences
40	Quelques cours	Quelques expériences
41	Quelques cours	Quelques expériences
42	Danseur professionnel	Quelques expériences
43	Pratique régulière de la danse	Quelques expériences
44	Quelques cours	un/e habitué/e
45	Danse sociale	Quelques expériences
46	Pratique régulière de la danse	Aucune expérience
47	Pratique régulière de la danse	Quelques expériences
48	Danseur professionnel	Aucune expérience
49	Pratique régulière de la danse	Aucune expérience
50	Pratique régulière de la danse	Quelques expériences
51	Danse sociale	un/e habitué/e
52	Danse sociale, Quelques cours	Quelques expériences

Table 6 - L'expérience des participants à la danse et à la réalité virtuelle

Sur les 42 personnes ayant répondu au questionnaire, 23 d'entre elles nous disent en avoir une pratique régulière de la danse, 11 ont pris des cours par le passé et 8 dansent en contexte social ou très rarement. Notre étude portant sur la genèse des stratégies de communication par le geste improvisé, la tendance des danseurs à être naturellement expressifs gestuellement est à prendre en compte, à la différence des personnes peu habituées à communiquer de manière créative avec le corps.

Un second point doit nous amener à nuancer les résultats obtenus sur l'analyse de la qualité d'expérience. 20 sujets parmi les 42 réponses récoltées nous disent en effet n'avoir eu aucune expérience de la réalité virtuelle avant la nôtre. 19 disent avoir eu quelques expériences, et seulement 3 se considèrent comme des habitués.

Le pouvoir immersif de la réalité virtuelle est généralement saisissant lors des toutes premières expériences et tend à diminuer au fur et à mesure (De Loor et al. 2014). Ainsi, proposer une expérience immersive à des participants néophytes nous assure de leur faire vivre un moment fort et marquant, peu importe finalement la qualité de notre design en tant que telle.

Nous tâcherons de mettre en rapport les commentaires et évaluations des participants qui vont suivre avec leur propre expérience de danse et de RV, afin d'éviter tout biais ou surinterprétation de leurs propos.

Protocole expérimental

À nouveau, nous avons fait le choix de ne donner aucune consigne aux participants, si ce n'est les inviter à explorer l'expérience par eux-mêmes. Ceux-ci se retrouvaient à deux dans une même salle, étaient équipés des casques et capteurs RV, puis plongés dans un premier temps seuls dans l'environnement virtuel.



Fig. 73 · À gauche, une participante équipée du set complet de réalité virtuelle

Fig. 74 · À droite, un participant danse tandis que le système informatique calcule les rendus de la scène

Une fois l'enregistrement lancé, il était demandé à chacun de faire un clap avec les mains pour permettre une synchronisation ultérieure des vidéos et fichiers de performances.

Les participants furent invités à faire l'expérience une première fois sur un scénario imposé, avec un enchaînement de 4 conditions visuelles dans des ordres à chaque fois différents.

À la différence du retour d'expérience de Tate, nous entrerons ici en détail sur les effets de ces changements de conditions sur leurs expériences.

Les conditions évaluées pour chaque scénario étaient les suivantes :

1A - Condition de base (trois sphères blanches)

1B - Absence du retour des mains

2B - Condition de base avec présence d'un miroir

2C - Miroir et couleurs différentes entre les sphères des partenaires

La première phase fut prévue pour durer 12 minutes et 40 secondes (3 minutes et 10 secondes par condition). À la fin, il leur fut à nouveau proposé de verbaliser à voix haute leur expérience tout en restant en immersion, puis une fois l'enregistrement terminé, ils furent ensuite invités à se déséquiper, et à se rendre dans une pièce différente, pour remplir un questionnaire et répondre à quelques questions lors d'un entretien.

Un second passage de 6 minutes en immersion leur fut ensuite proposé, leur permettant de choisir la condition visuelle qu'ils souhaitaient refaire.

Nous avons ainsi pu collecter 20 fichiers de performances lors de la première phase, et 15 fichiers lors de la seconde, couvrant ainsi l'ensemble des conditions proposées. Au total, 35 fichiers de données de mouvements et 32 questionnaires post-expérience y ont été recueillis.

Ces questionnaires proposent un set de questions différant légèrement de l'expérience de Tate. Également notées à l'aide d'une échelle de Likert sur sept points, allant de 0 (je n'adhère pas) à 6 (j'adhère complètement), les différentes affirmations sont regroupées par thématique et accolées à des témoignages des participants. L'ensemble des notes et des résultats pourra être trouvé en Annexe III à la fin de ce manuscrit.

2.3.10 · Retours d'expériences collectés

L'impact d'un corps minimaliste pour la mise en mouvement

N'étant pas préparés à ce qu'ils vont vivre, nous avons pu observer une tendance chez la majorité des participants à explorer leurs nouvelles propriétés corporelles au cours des premières secondes de l'expérience. À part quelques participants ayant déjà participé à des versions préliminaires de l'expérience, la plupart ont pu découvrir le dissensus particulier de ne plus voir la liaison entre son propre buste et ce qui remplace alors les mains. Nous avons pu les voir commencer par confronter leurs visions à leurs sensations proprioceptives (se toucher sans se voir, faire se rencontrer et mélanger les deux sphères virtuelles).

PX²⁸

“Mon lien au sol était absent, cela me permettait d'avoir un mouvement plus fluide”

“Je ne sentais pas la gravité pour mes mains”

28 Numéro de sujet non renseigné

P30, sans expérience préalable de la VR

« Je me souviens encore des 20 premières secondes où j'apprenais à utiliser l'espace, à utiliser l'absence de mon « corps » et de cette transition dans laquelle je suis devenue immatérielle. C'est un peu bizarre, je me sentais plus proche du sol que d'habitude. »

P43

« Ma masse corporelle n'existe pas, uniquement mon mouvement. »

« J'ai appris et été surpris par la capacité de la VR à me donner des repères d'espaces cohérents pour mon système vestibulaire. En effet, j'ai pu danser avec autant d'équilibre et d'aisance que si j'avais les yeux ouverts à l'espace réel. »

Le mouvement des mains faisant coïncider celui des sphères virtuelles, les participants acceptent généralement assez vite cette nouvelle corporalité et laissent voguer leur attention vers leurs alentours.

L'environnement comme catalyseur de l'attention

Comme nous l'avons vu, l'environnement virtuel joue dans l'expérience un rôle clé, en cherchant à induire une sensation de confort et de paix. Épuré au possible, celui-ci laisse les participants livrés à eux-mêmes, en les amenant toutefois à se focaliser sur leur objet d'attention principal, l'interaction sociale.

P30

« Le silence était si profond que je pouvais imaginer du vent juste dans ma tête, en bougeant mes cheveux, probablement était-ce dû au son de ma propre respiration. »

P11

« C'était très apaisant grâce au décor minimaliste et aux sphères qui flottent. Les couleurs de l'environnement participent également à cet état de tranquillité. »

« Que l'environnement soit le plus minimaliste permet d'éviter des variables parasites pour l'expérience donc selon moi il n'y a rien à ajouter. »

Certains participants ont exprimé une certaine frustration de voir une grille virtuelle apparaître lorsqu'ils sortaient des limites physiques qui leur étaient imposées.

P36

« L'espace m'a limité, j'aurais aimé aller très loin, courir »

Pour une participante, une sensation de claustrophobie s'est même déclarée, due à l'aspect non évident des raisons de son apparition. Se savoir contrainte par une grille pouvant apparaître à tout instant a ajouté pour elle un caractère anxiogène à l'expérience.

Le rapport à l'autre

Si à la Tate Modern, il était rendu clair pour les participants qu'ils seraient invités à interagir, lors de l'expérience à Pouchet, aucune mention de coprésence n'était faite au préalable (quelques participants avaient néanmoins déjà participé aux premiers workshops).

À partir des réponses collectées à travers les questionnaires et au cours des interviews, il est apparu que 17 personnes n'ont compris être en interaction avec l'autre participant qu'après la première expérience (lors du déséquipement ou au cours des entretiens). 12 ont exprimé des doutes ou s'en sont rendu compte au cours de l'interaction, enfin 11 ont compris ou savaient dès le début que les sphères représentaient leur partenaire (Table 7).

Numéro sujet	Scénario	Détection de la coprésence
11	1B1A2B2C	Après l'expérience
12		Après l'expérience
13	1A1B2C2B	Après l'expérience
14		« Après l'expérience »
15	1B1A2C2B	Au milieu
16		Tout au début
17	2B2C1A1B	<i>Non renseigné</i>
18		Tout au début
19	1A1B2B2C	« Tout au début »
20		Changement de couleur
21	1B1A2B2C	Vers la fin
22		Après l'expérience
23	1A1B2C2B	Vers la fin
24		Après l'expérience
25	1B1A2C2B	« Tout au début »
26		Après l'expérience
27	2B2C1A1B	« Après l'expérience »
28		<i>Non renseigné</i>
29	2B2C1B1A	Tout au début
30		Au milieu
31	2C2B1A1B	« Au milieu »
32		Tout au début
33	2C2B1B1A	« Après l'expérience »
34		Tout au début

35	1A1B2B2C	Après l'expérience
36		Tout au début
37	1A1B2B2C	Changement de couleur
38		Après l'expérience
39	2C2B1A1B	Vers la fin
40		Après l'expérience
41	2C2B1B1A	Tout au début
42		Après l'expérience
43	1A1B2B2C	Tout au début
44		Tout au début
45	1B1A2B2C	« Après l'expérience »
46		Après l'expérience
47	1A1B2C2B	Après l'expérience
48		Après l'expérience
49	1B1A2C2B	Changement de couleur
50		Apparition du miroir
51	2B2C1A1B	« Tout au début »
52		Au milieu

Table 7 - Liste des participants et moment de leur découverte de la coprésence dans l'expérience (les résultats entre guillemets sont déduits des réponses des interviews)

Les participants n'ayant pas compris tout de suite cette co-présence nous ont donné diverses intuitions sur l'origine du mouvement des autres sphères.

P46

« C'était pour moi un personnage téléguidé manipulé par les informaticiens. Je ne savais pas comment danser avec ça. Pour moi c'était semi-humain. »

P35

« Il n'y avait pas de personnalité ou de volonté dans les balles, pour moi c'était des possibilités de circuits. »

P11

« Je pensais que c'était l'ordinateur / les ingénieurs derrière l'ordi. »

P39

« Au début je pensais que c'était un scénario déjà fait, pas besoin d'interagir. »

Ensuite je me suis dit c'était un ordi, donc que je pouvais jouer avec. Après j'ai compris que c'était lui/elle. »

Pourtant certains ont ressenti cette ambiguïté qui se dégageait du mouvement du partenaire.

P40

« Je n'ai pas ressenti une intention dans ces sphères, mais j'ai vu des effets de décalage par rapport à mon mouvement. Je me suis demandé si mes gestes revenaient désordonnés, comme un miroir déformant, un écho. »

P12

« J'ai cru qu'il y avait un problème dans le programme parce qu'il y avait un décalage par rapport à mon mouvement. »

De cette ambiguïté, certains ont compris en cours d'expérience qu'ils avaient affaire au second participant. Cette découverte a pu parfois changer leur stratégie d'interaction et la posture adoptée.

P15

« Au début je pensais être face à un opérateur mais je me suis dit il fait quand même beaucoup comme moi... Je me suis dit que c'était impossible, qu'il devait avoir un casque. »

J'ai tout de suite changé mon comportement, j'ai questionné le sens de mes mouvements précédents, j'ai reconsidéré mes actions par rapport au but de l'expérience. Plein d'émotions se sont manifestées en même temps. »

« Je l'ai alors considéré comme une personne, j'ai eu moins envie d'être intrusive, de moins pénétrer son espace. Je me suis déplacé différemment autour de lui. »

P29

« J'ai toujours senti avoir affaire à quelqu'un par contre je n'ai pas toujours senti avoir à faire à un corps. Je n'arrive pas à évoquer l'image de son corps en moi, sauf quand j'ai perçu qu'elle tournait sur elle-même avec ses bras. »

P16

« À partir du moment où on s'est reconnu, l'interaction est allée dans les deux sens. »

« Le fait de ne plus être seul a tout changé, j'ai eu la sensation d'être regardé, ça change l'expérience. »

Ayant pris conscience rapidement ou non de la présence de leur partenaire, les participants ont pour la plupart entrepris une exploration par le mouvement de l'environnement virtuel. Le mouvement retour des sphères adverses a définitivement eu une influence sur eux. Étant privés de leurs outils usuels de communication, ils ont dû initier la construction d'un langage

propre et improvisé. Certains se sont demandé comment devaient se comporter des sphères flottantes dans un tel environnement.

P30

« J'ai adopté et accepté cette idée d'être juste trois ballons, et j'ai décidé de me sentir fragmentée. »

Nous pouvons remarquer les tendances des participants à recourir naturellement à l'imaginaire implicite des sphères. Cette apparence particulière semble leur donner une base de sens commun, ouvrant des possibles sans en restreindre pourtant l'interprétation.

P46

« J'ai été très surprise que les balles me sautent à la figure et ça m'a fait rire. Ça m'a fait penser au jonglage, j'ai vu un acrobate qui surgissait. »

« J'ai eu l'impression de jouer avec des planètes, d'être dans le cosmos »

P45

« Moi je voyais des papillons qui volaient autour de moi »

Certains participants s'entendront ensuite sur un certain nombre de figures métaphoriques, comme lors de l'expérience à Tate. Certains évoqueront des balancements, des rebonds, des pendules, d'autres iront chercher des métaphores géométriques en parlant d'alignements, de dispositions en triangles parfaits, ou invoqueront des approches plus animales et anthropomorphiques avec des allusions à la boxe et au combat.

P16 à P15 :

« Tu faisais un mouvement de recul à chaque fois que j'approchais mes balles de ta tête »

P15 lui répond :

« Eh bien oui tu m'as attaqué alors je t'ai attaqué »

Le mouvement du partenaire étant l'élément central d'attention, les qualités perçues dans les gestes influencent directement l'action, amenant chacun à requestionner à chaque instant son agentivité sur les mouvements de l'autre.

P32

« On a pris du temps pour définir cette relation, j'ai voulu explorer le rythme, le mien, celui de l'autre, explorer les niveaux (bas haut milieu), j'ai laissé tout ça me guider. »

L'influence des changements visuels

- Changement de couleur

Parmi les différents changements de conditions visuelles, le changement de la couleur de l'autre participant a été vécu comme un événement décisif pour plusieurs personnes. Cette

distinction soudaine de l'apparence a pu être responsable d'une individualisation de cet « autre » qui pouvait auparavant apparaître comme une entité ambiante ou bien un égal.

Pour P20, P37 et P49 le changement de couleur a été le déclencheur permettant de comprendre que les autres sphères représentaient l'autre participant.

P20

« Quand les sphères ont changé de couleur, la présence de l'autre est devenue bien plus forte, ma relation à l'espace et aux gestes a changé »

Le caractère porté à l'autre avatar semble propre à chacun, certains vont attribuer à ce changement de couleur une intention différente, pouvant être connoté positivement ou négativement.

P29

« Je me suis questionné quand les sphères sont devenues bleues. C'était toujours la même personne mais sous une modalité différente. Comme une variation légère d'un avatar. De ça :-) à ça ; -) »

Se sentant d'abord persécutée par le mouvement des sphères, P33 a finalement apprécié cette altération visuelle.

P33

« Je me suis senti plus à l'aise lors du changement de couleur, la relation était plus affective »

Pour P39, la couleur a créé une distance.

P39

« Les boules bleues me paraissaient agressives, alors que les blanches étaient de la même espèce que moi. »

Plus simplement, l'apparition d'une couleur différente a pour certains redynamisé l'interaction, ajoutant de la surprise et du renouveau.

P23

« L'apparition des boules vertes a été très soudain, ça amenait de la joie dans cet environnement froid. C'était agréable. »

P45

« Le changement de couleur a donné un côté peps à l'interaction, ça aurait pu être un changement de forme aussi, c'était un rebond ludique »

• Le miroir

L'apparition du miroir est également importante à plusieurs égards. Le fait d'avoir une sphère à la place de la tête n'est en effet pas implicite tant que le miroir n'est pas apparu.

Initialement, seules les deux sphères à la place des mains sont visibles, le point de vue étant en effet confondu avec la position de cette troisième sphère.

À moins de repérer la troisième ombre portée au sol, ou de supposer être identique au partenaire, cette possibilité de s'exprimer par le mouvement de la tête n'apparaît donc pas comme évidente.

Le miroir est donc une phase importante pour comprendre que l'apparence des deux avatars est identique, entraînant de fait la possibilité de créer une identification et un lien social.

P25

« Le miroir nous a permis de voir nos alignements ; la relation est devenue plus stable, plus collaborative »

P32

« Le miroir m'a permis, comme dans un cours de danse, de comprendre le mouvement et comment j'apparaissais »

P20

« Cela donnait l'impression d'être dans un espace plus grand, modifiant l'amplitude des mouvements. Cela a également renforcé cette présence de l'autre et l'espièglerie entre nous »

Pour P26, qui a pourtant compris après l'expérience avoir été en interaction avec une vraie personne, le miroir lui a donné la sensation d'un regard provenant des sphères.

P26

« On a pu se regarder, j'ai eu l'impression qu'on regardait le miroir en même temps. »

Néanmoins, et si le miroir permet de sécuriser la base de la relation (augmenter l'écoute, développer le sentiment d'altérité), il conduit généralement à un appauvrissement de l'expressivité gestuelle et à de l'ennui. Les participants ont finalement apprécié de ne pas y être trop longtemps confrontés.

P32

« Le moment où le miroir s'enlève je me suis sentie plus mobile, et je sentais plus l'autre. Avec le miroir j'étais bloquée en 2D. »

P44

« J'ai retrouvé des repères après la phase du miroir, l'interaction en face s'est sentie plus forte évidente et émouvante »

J'étais plus présent à l'interaction, c'était plus subtil, ma manière d'aborder l'interaction a changé. »

P43

« J'ai quitté le miroir après qu'il a commencé à m'ennuyer, ça me semblait évident qu'on allait le quitter ensemble, qu'on était en synchronie. »

Certains comme P48 ne l'ont pas vu de toute l'expérience. D'autres préféraient ne pas y prêter d'attention.

P11

« Je ne suis pas allé voir le miroir, je préférais rester avec les sphères »

Cette condition visuelle apparaît donc comme un outil efficace pour une prise de conscience de soi au sein du virtuel, et constater sa proximité/différence avec l'autre. Il apparaît en revanche limitant à la longue.

• Disparition des mains

Enfin, la condition de disparition des mains a été plus déroutante pour certains participants. En l'absence des mains, la seule perception de sa propre existence matérielle passe par la seule ombre portée au sol et par le retour de son propre mouvement à travers ceux du partenaire. Cette absence de retour perceptif de soi a pu conduire à une certaine forme d'anxiété chez certains.

P25

« Je me suis sentie en insécurité, je ne pouvais pas contrôler ce que tu voyais. Cette perte de sensation rendait difficile de participer à l'échange. J'ai essayé d'être plus réactive et ça m'a conduit à être plus agressive. »

P44

« La disparition des balles j'ai cru à un bug, j'ai fait avec et c'était très étrange, je me disais elle voyait juste ma tête et j'ai fait des mimes juste avec la tête. »

Cette privation a exigé pour certains une adaptation, comme un besoin de s'assurer de ce qui était encore en place et de ce qui était encore permis de faire.

P39

« Quand je ne voyais plus mes boules c'est là que j'ai essayé d'être le plus communicatif, mes gestes étaient plus symboliques, répétés »

P31

« Je ne me suis pas rendu compte tout de suite de l'absence de mes balles, ça a perturbé mon narratif, et j'ai dû m'adapter. »

P35

« Un moment où les balles ont disparu, sentir son corps sans le voir était une possibilité intéressante, c'est différent que d'avoir les yeux fermés, ça enlève

des limites, le mouvement peut être infini. J'étais dans une recherche intérieure, dans l'écoute des sensations du corps, et dans une projection infinie vers l'espace. L'attention n'était plus sur les boules, elle était plus intérieure et plus globale. Ça agrandit le cadre d'attention. »

Ce dernier commentaire est saisissant et inviterait à voir la perception de soi comme une variable pour orienter l'attention au sein d'expériences immersives.

Pour P37 qui n'avait pas compris être en présence de son partenaire au moment de la disparition de ses mains, cette privation l'a forcé à être davantage dans l'écoute.

P37

« On a l'impression d'avoir moins d'options gestuelles, on est comme obligé de suivre. L'attention a davantage été portée du global vers l'autre. »

Pour quelques-uns, le changement n'a pas été notable ou n'a pas dérangé l'interaction. P24 nous dit par exemple n'avoir remarqué cette condition visuelle que pendant un temps très court, de l'ordre de la seconde, alors que comme chaque condition il a duré 3 minutes.

Cette condition semble de manière générale intéressante pour amener les participants à focaliser leur attention sur l'extérieur. Altérer la complexité de la perception de soi pour altérer les dynamiques d'action peut être un atout puissant en SDR, en faisant attention toutefois à ne pas priver les participants de leurs sensations de présence et d'agentivité au sein de l'environnement virtuel.

2.3.11 • Analyse de l'expérience globale

Les expériences vécues ont globalement été très bien évaluées par l'ensemble de nos participants. Tous ont rempli le questionnaire à la suite du premier passage, nous permettant d'obtenir les notes suivantes (40 réponses + 2 enlevées suite à un problème technique durant la performance).

Affirmation	Moyenne	Écart-type
J'ai trouvé cet espace visuel silencieux très séduisant	4.45	1.50
La simplicité de l'environnement de réalité virtuelle me rendait d'autant plus curieux et exploratif	4.36	1.63
Je trouve que l'installation en réalité virtuelle limitait le potentiel de mes mouvements	2.3	1.79
Mon partenaire n'a pas apprécié l'expérience	1.69	1.88
J'avais une agréable sensation de légèreté	4.30	1.60
Des éléments du monde réel m'ont souvent extrait de mon expérience en réalité virtuelle	1.18	1.47

Mes mouvements et ma créativité étaient amplifiés par la présence de l'autre personne	3.85	1.79
Ne pas avoir d'instructions ou de buts spécifiques me déroutait et m'égarait	1.83	1.78
J'aurais aimé que l'expérience dure beaucoup plus longtemps	3.53	1.92

Table 8 - Quelques notes données par les participants relatives à la qualité d'expérience générale

Ces résultats nous confortent à nouveau sur nos choix de design et sur la capacité de la SDR à offrir aux participants les conditions pour vivre une expérience basée sur l'interaction sensible improvisée.

L'abstraction du langage et le minimalisme visuel semblent ici permettre le développement d'une relation originale, influencée certes par l'imaginaire des sphères et usant parfois de métaphores récurrentes, mais permettant dans la plupart des cas de développer une histoire singulière.

Nous avons pu observer de multiples stratégies amenant à la coordination entre dyades et nous en détaillerons quelques-unes dans le chapitre 3 de ce manuscrit.

En les questionnant sur les moments forts vécus, de nombreux témoignages nous disent que l'expérience est cependant devenue plaisante lorsque d'une lutte ils sont passés à une écoute mutuelle.

P11

« J'ai trouvé une sensation d'accord, au fait d'arrêter de lutter, de lâcher et de décider de partager »

P26

« J'étais fatigué de tenter des choses et j'ai décidé de m'asseoir. Je me suis calmé et j'ai eu l'impression que les balles m'écoutaient, elles me regardaient. Là j'ai vraiment commencé à jouer avec. Au début je ne comprenais pas et elles étaient agressives.²⁹ »

Le mimétisme des gestes est souvent cité comme un moment fort par les participants.

P29

« Il me reste ce moment où une communication « explicite » s'est manifestée entre ma partenaire et moi. J'ai aligné mes 3 sphères horizontalement, elle a fait de même. »

²⁹ Il semble intéressant de constater que P11 et P26 ont tous les deux commencé avec la condition 1B qui masque le retour visuel des mains.

P11 commente d'ailleurs ne pas avoir remarqué cette absence et tous deux disent qu'ils ont lutté dans la première partie de l'expérience. Ils disent ensuite avoir laissé tomber la lutte, pour découvrir finalement que les balles étaient à l'écoute.

Peut-être si cette condition était intervenue après avoir expérimenté la condition 1A ensemble, ils auraient compris davantage leur agentivité sur le mouvement du partenaire.

P30

« Je me rappelle clairement deux moments : le premier super violent, avec des ballons courant autour de moi (ou l'absence de moi), et l'autre plus confortable, essayant de nous aligner encore et encore. »

P48

« On a eu des immobilités communes, des alignements qui m'ont beaucoup intéressé. »

P45

« Pour moi le moment fort c'était quand l'une des balles s'est mise à osciller, et je me suis dit c'est marrant je vais faire pareil. »

Ici P45 n'avait pas conscience que les sphères représentaient sa partenaire. Elle a naturellement adapté sa gestuelle et le sens porté.

La mimétique est connue pour être un phénomène implicite qui atteste de la mise en place et du maintien de la relation interpersonnelle, en effet l'imitation augmente l'affiliation et vice-versa (Lefebvre, 2008).

Il n'est pas évident de dire si dans notre cas cette mimétique avait une portée sociale mais c'est néanmoins un signe que l'embodiment minimaliste a réussi à induire un rapport d'altérité entre elle et sa partenaire, transportant du sens d'un corps vers l'autre.

Globalement les participants nous ont fait part du plaisir qu'ils ont pu avoir à expérimenter ce type de relation minimaliste.

P19

« J'ai vraiment un souvenir de plénitude, relaxant et très agréable. C'était à la fois une expérience très créative et intime. »

P32

« J'aimerais essayer cette expérience à nouveau. »

Dans le questionnaire en ligne envoyé quelques jours après la rencontre, une question leur demandait quelle sensation il leur restait, après avoir pris du recul sur l'ensemble des deux expériences vécues.

P44

« C'est une expérience qui a éveillé en moi des sensations et des émotions toutes nouvelles par rapport à mon corps et ses mouvements et son rapport à autrui. Très juste, sensible et originale. »

P48

« Un moment énigmatique, silencieux, stimulant et agréable »

P20

« Il me reste du plaisir, un léger étonnement de l'effet vers la fin de l'expérience, c'est-à-dire l'ouverture de mes mouvements vers un espace plus grand, une sensation plus élastique et une chaleur, une sorte d'énergie intérieure. »

PXX

« J'ai appris à me déplacer différemment et à me concentrer sur des choses essentielles »

P23

« Le temps semblait passer bien plus lentement, mon esprit ne pensait à rien d'autre que le problème des « boules » en face de moi »

P40

« [J'ai appris] Que seulement 12 + 6 minutes passées à bouger (même en restant dans un petit cube!) plongé dans une réalité virtuelle avec une grande profondeur de champ (pas sûre que ce soit le terme exact), dans un espace indéfini et presque infini fait énormément de bien! »

P44

« Il me reste une impression particulière d'avoir eu envie d'être en connexion avec un autre. Je ne savais pas comment créer cette connexion mais je me sentais libre d'essayer. »

P43

« Une sensation de liberté, de jeu, un rapport à l'autre différent. »

2.3.12 · Analyse comparée

Au regard des différences d'expériences entre les participants, il nous semble intéressant de nuancer ces notes en fonction de différents critères.

Plusieurs participants ont vécu une première expérience en se sentant seuls, tandis que d'autres ont compris dès le début ou au milieu de l'expérience qu'ils partageaient l'espace avec quelqu'un d'autre. Plusieurs commentaires nous disent que la découverte de la coprésence a eu un changement important dans leurs stratégies d'adaptation et dans leurs postures. Nous voulons voir si cette différence se ressent dans leurs manières de noter l'expérience.

Il est tentant de penser aussi que des habitués de la danse auront plus de facilité à développer un langage créatif et personnalisé que des participants non-danseurs, les conduisant potentiellement à de meilleurs degrés de qualité d'expérience.

Enfin les expériences préalables de la VR nous semblent être un élément supplémentaire pouvant nuancer les retours formulés. Comme mentionné précédemment, les premières expériences immersives sont généralement sources de plus grands enthousiasmes et émerveillements, du fait de vivre pour la première fois ce type de sensation de disembodiment.

Ce phénomène tend à diminuer lorsque l'usage des technologies de réalité virtuelle est répété, ce qui peut conduire également à une diminution de la qualité d'expérience vécue.

Nous proposons donc ici une analyse comparée des notes données aux questionnaires post-expérimentaux afin de voir si des différences significatives apparaissent entre les groupes. Nous mettrons également ce comparatif en relief avec quelques-uns des commentaires de nos participants.

Se savoir en coprésence

Parmi nos participants, 17 n'avaient donc pas compris être en coprésence lors de la première expérience, contre 22 qui l'ont découvert avant ou pendant (2 réponses ont été écartées pour cause de problème technique, et une participante n'a pas renseigné le questionnaire et n'a pas participé aux interviews).

Nous pouvons observer une certaine similarité sur les notes ayant trait à la qualité de l'expérience et à la créativité induite par ces choix de design.

Affirmation	Coprésence non découverte - 17 réponses		Coprésence découverte 22 réponses	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
J'ai trouvé cet espace visuel et silencieux très séduisant	4.65	1.22	4.59	1.44
La simplicité de l'environnement de réalité virtuelle me rendait d'autant plus curieux et exploratif	4.56	1.79	4.23	1.57
Ne pas avoir d'instructions ou de buts spécifiques me déroutait et m'égarait	1.82	2.04	1.68	1.49

Table 9 - Premier comparatif de notes données entre les groupes n'ayant pas identifié leur coprésence et ceux l'ayant identifié

Les deux groupes semblent n'avoir pas été gênés du manque de consignes et ont apprécié les choix minimalistes de design.

Certaines autres affirmations méritent en revanche d'être rapportées au regard de notre étude, observant des écarts de moyenne significatifs (supérieurs à 0.5 points³⁰).

30 Les affirmations faisant mention du partenaire obtiennent des différences importantes mais ont été écartées, les résultats étant forcément biaisés car certains découvraient sur le moment la réalité de la relation sociale (l'affirmation « J'oubliais souvent (régulièrement?) que certaines des balles représentaient une autre personne » voit par exemple des notes de 5.29 pour le groupe se pensant seul, contre 2.36 pour l'autre).

Affirmation	Coprésence non découverte - 17 réponses		Coprésence découverte 22 réponses	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Des éléments du monde réel m'ont souvent extrait de mon expérience en réalité virtuelle	0.82	1.19	1.41	1.65
Dans cette expérience de réalité virtuelle, je me sentais être davantage que mon moi habituel	2.41	2.00	3.18	1.94
J'aurais aimé que l'expérience dure beaucoup plus longtemps	3.88	1.50	3.36	2.17
Quand on pouvait voir nos balles dans le miroir, j'avais le sentiment que nos mouvements ne faisaient qu'un	3.76	1.89	2.91	1.90

Table 10 - Second comparatif de notes données entre les groupes n'ayant pas identifié leur coprésence et ceux l'ayant identifié

De manière générale il semblerait que les personnes se pensant seules ont une plus grande facilité à s'immerger et à vivre une expérience introspective que celles se sachant en coprésence. Elles se sentent généralement moins perturbées par le monde extérieur.

Le second groupe semble quant à lui plus à même de vivre une expérience sociale « augmentée », en se disant se sentir au-delà de leur moi habituel. On peut supposer que les participants ont trouvé ici quelque chose de plus fort que leurs individualités séparées, rappelant les phénomènes de Flow de groupe. L'apparition de cet état s'avère peut-être conditionnée au fait de se savoir accompagné dans l'expérience interactive³¹.

Analysons à présent quelques commentaires des personnes ayant découvert la coprésence de manière tardive.

Lorsqu'on les interroge sur la différence entre la première expérience, lorsqu'elles se sentaient seules, et la seconde, après avoir pu échanger ensemble sur leur vécu, les sensations rapportées diffèrent.

P12

« Je me suis sentie plus à l'aise, plus joueuse, plus détendue. »

P38

« Le relationnel a vraiment changé, c'était réellement une danse à deux, et je me suis sentie plus en état de danse, alors que la première fois je me sentais plus en état d'expérimentation du mouvement »

31 Au sein de ce premier groupe 7 sur 17 (41 %) avaient déjà eu des expériences de réalité virtuelle, et 11/17 (65 %) avaient au moins une pratique régulière de la danse.

Dans le second, 13/22 (59 %) avaient déjà eu des expériences de réalité virtuelle, et 12/22 (55 %) avaient au moins une pratique régulière de la danse.

P24

« C'était différent, l'interaction était beaucoup moins spontanée »

P42 (traduit de l'espagnol)

« Ça a changé le point d'exploration, [dans la première expérience] je bougeais à travers les sensations visuelles, [alors que dans la seconde] j'ai essayé de sortir de ma physicalité et de dessiner avec mon partenaire, en étant des balles. Mon objectif était contraire à celui de la première expérience. »

De manière générale, se savoir en face d'un humain semble changer le ressenti et la posture adoptée par rapport à des expériences présumées solitaires.

Même pour des personnes se sachant en coprésence dès la première expérience, le fait d'avoir pu mettre des mots ensemble sur leur vécu a changé la qualité du rapport lors de la seconde.

P16

« De 1 avec un inconnu nous sommes passés à 2. Ce n'est plus le même échange. Il y a eu un peu plus de complicité dans le deuxième échange. »

P43

« Le rapport devient plus influencé par mon idée ou habitude de ce qu'est la relation humaine dans notre société. Il y a moins de mystère, moins d'abandon vers l'inconnu, mais peut-être plus de complicité. »

P49 et P52 avaient par exemple vécu chacune une première expérience assez anxiogène, se sentant l'une enfermée par l'environnement virtuel, et l'autre attaquée par les sphères adverses. Après avoir discuté avec leurs partenaires respectifs, elles ont pu vivre une seconde expérience bien plus satisfaisante :

P49

« Le cadre était beaucoup plus rassurant que la première fois ! Environnement connu, présence reconnue de l'autre personne »

P52

« Je savais que c'est mon amie. J'ai joué avec elle »

P35 nous apporte en guise de conclusion :

P35

« Je pense que c'est bien de ne pas savoir à l'avance [que les autres sphères sont l'autre personne], ça m'a permis de rentrer dans l'expérience par mon propre corps en réalité virtuelle puis de rentrer en interaction à un certain moment sans que ce soit un devoir »

Ces commentaires nuancent nos précédentes observations sur le potentiel de la SDR.

Le fait de se penser seul dans l'environnement virtuel induit une expérience tournée vers ses propres sensations, plus exploratoire et personnelle. Se savoir accompagné amène en revanche les participants à user sciemment des stratégies de coordination sociale, à entrer davantage dans une forme de danse. La dimension de jeu et l'écoute portée aux mouvements changent radicalement.

Les participants se sentant seuls ont exprimé plus de difficulté à comprendre ce qui leur était demandé, ont émis parfois de la frustration et ont pu user de qualités gestuelles plus violentes. Certains ont ainsi pu se sentir soulagés lors de la 2e expérience, partageant cette fois leur désorientation avec quelqu'un d'autre.

Certains nous disent avoir finalement apprécié cette ambiguïté, se sentant peut-être plus libres d'expérimenter ces nouvelles sensations comme ils l'entendaient, et se satisfaisant de cette énigme consistant à voir leurs propres mouvements leur revenir altérés, décalés.

Expérience préliminaire de la RV

Il est intéressant de nuancer également les notes données aux questionnaires par le fait que beaucoup de ces personnes découvraient la VR pour la première fois.

21 participants ont déclaré avoir eu quelques expériences préalables ou se disaient des habitués de la VR, contre 19 n'ayant jamais eu d'expérience. Là encore des différences de notation apparaissent pour certaines des affirmations du questionnaire.

Affirmations	Non-connaisseurs de la VR - 21 réponses		Connaisseurs de la VR 19 réponses	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
J'ai trouvé cet espace visuel et silencieux très séduisant	4.84	0.96	4.19	1.83
La simplicité de l'environnement de réalité virtuelle me rendait d'autant plus curieux et exploratif	4.68	1.42	4.05	1.79
Mon partenaire n'a pas apprécié l'expérience	1.33	1.53	2.00	2.12
J'oubliais souvent (régulièrement ?) que certaines des balles représentaient une autre personne	4.05	2.15	3.24	2.10
Des éléments du monde réel m'ont souvent extrait de mon expérience en réalité virtuelle	0.84	1.01	1.48	1.75
Mon attention était davantage focalisée sur mes propres mouvements que sur la relation entre nos mouvements respectifs	3.37	1.74	2.33	2.03

Dans cette expérience de réalité virtuelle, je me sentais être davantage que mon moi habituel	3.16	1.71	2.43	2.23
J'aurais aimé que l'expérience dure beaucoup plus longtemps	3.84	1.74	3.24	2.07
J'étais davantage conscient de mon corps que d'habitude	3.00	1.83	2.38	2.01
J'étais souvent celui qui initiait les interactions avec l'autre personne	2.47	1.26	3.29	1.71
Quand nos balles avaient des couleurs différentes, je me sentais davantage séparé de l'autre personne	1.74	1.82	2.38	2.40
Quand je ne pouvais plus voir mes propres balles, je trouvais que j'interagissais davantage avec l'autre personne	3.32	2.08	1.57	2.04
Quand je ne voyais plus mes propres balles, je ressentais davantage de proximité avec l'autre personne. L'absence de mes propres balles me faisait ressentir davantage de proximité avec l'autre personne	3.32	2.00	1.76	2.07
Cohabiter l'espace virtuel avec l'autre personne créait un sentiment d'intimité	2.53	2.27	3.62	1.88

Table 11 - Comparatif de notes données entre le groupe n'ayant pas une grande expérience de la RV et celui se disant habitué

Il est intéressant de noter que les expériences étaient souvent plus immersives et personnelles pour les participants découvrant la VR. Ils étaient également plus sensibles à la disparition de la perception de leurs mains.

Les connaisseurs parvenaient davantage à sentir du dialogue avec le partenaire et à s'adapter aux changements perceptifs. Ces changements arrivant de manière inattendue, il est probable que des personnes découvrant la réalité virtuelle aient pu les vivre avec une certaine décontenance.

Ces derniers notent de manière plus basse la question « J'aurais aimé que l'expérience dure plus longtemps », peut-être furent-ils plus rapidement lassés de l'expérience et moins sujets à l'émerveillement des premières fois.

Expérience préliminaire de la danse

Enfin, il semble intéressant de différencier les notes des experts de la danse de celles des autres, moins habitués à utiliser leur corps comme un moyen d'expression.

Le groupe appelé ci-après « Non danseurs » regroupe les participants ayant renseigné « Danse sociale », « Quelques cours » et « rares expériences » aux questions traitant de leur niveau de pratique de la danse.

Le groupe « Danseurs réguliers » regroupe les participants ayant renseigné « Pratique régulière » et « Danseur professionnel » aux mêmes questions.

Affirmation	Non-danseurs 18 personnes		Danseurs réguliers 24 personnes	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
J'ai trouvé cet espace visuel et silencieux très séduisant	3.83	1.65	4.96	1.12
La simplicité de l'environnement de réalité virtuelle me rendait d'autant plus curieux et exploratif	3.94	1.89	4.75	1.33
J'avais une agréable sensation de légèreté	3.83	1.50	4.63	1.56
Des éléments du monde réel m'ont souvent extrait de mon expérience en réalité virtuelle	1.67	1.81	0.92	1.28
Dans cette expérience de réalité virtuelle, je me sentais être davantage que mon moi habituel	2.11	2.05	3.25	1.92
La connexion et les interactions avec l'autre personne se faisaient facilement et très naturellement	2.44	1.79	3.54	1.72
J'aurais aimé que l'expérience dure beaucoup plus longtemps	2.39	1.94	4.29	1.40
J'étais davantage conscient de mon corps que d'habitude	2.33	2.03	3.00	1.82
Je trouve que l'installation en réalité virtuelle limitait le potentiel de mes mouvements	1.72	1.64	2.83	1.79

Quand on pouvait voir nos balles dans le miroir, j'avais le sentiment que nos mouvements ne faisaient qu'un	2.56	1.72	3.67	1.95
Je ne faisais pas attention au reflet de nos mouvements dans le miroir	2.33	2.25	1.46	2.00
Ne pas avoir d'instructions ou de buts spécifiques me déroutait et m'égarait	2.72	2.02	1.17	1.27
<i>Cohabiter l'espace virtuel avec l'autre personne créait un sentiment d'intimité</i>	3.56	1.76	2.83	2.30

Table 12 - Comparatif de notes données entre le groupe de non-danseurs et celui constitué de danseurs réguliers

L'espace virtuel est particulièrement séduisant pour les danseurs, il les rend plus créatifs et ils se laissent facilement emmener dans l'interaction. Ils témoignent également avoir plus de facilités à créer du lien avec l'autre.

Ils sont également moins perturbés que les non-danseurs par les éléments de l'extérieur mais se sentent aussi moins libres de leurs mouvements.

Les non-danseurs ont semble-t-il été plus attentifs au miroir, à la singularité de cette nouvelle expérience intime et sociale, là où les danseurs se concentraient davantage sur la proximité de leurs mouvements avec ceux du partenaire.

Enfin il est logique que les danseurs trouvent dans ce paradigme interactif un outil d'exploration intéressant, et qu'ils expriment vouloir vivre l'expérience plus longtemps.

Ces différentes distinctions entre les participants nous invitent à reconsidérer la pertinence de la SDR pour un usage grand public. Ayant été développé par et pour des danseurs, il est logique que la plateforme du projet Articulations trouve chez eux un intérêt plus important. Cette plateforme apporte un ensemble d'ingrédients permettant de favoriser l'attention sur le mouvement collaboratif, tout en offrant une expérience corporelle différente, fluctuante, à l'influence directe sur les stratégies gestuelles.

Pour les publics non-danseurs, l'immersion dans l'expérience semblait moins forte et d'un intérêt moindre, à l'image des publics ayant déjà eu des expériences préalables en réalité virtuelle.

2.3.13 • Une performance hybride et semi-improvisée en Réalité Diminuée

Nous clôturerons cette longue section par la présentation d'une performance, rendue publique au cours de deux événements différents et tirant profit de notre plateforme expérimentale.

Comme développé en détail dans notre article commun Vuarnesson et al. (2021), il nous est apparu au cours des différents workshops et expérimentations que cette plateforme possédait

un potentiel performatif important. Si la configuration utilisée pour les expérimentations, plaçant les deux partenaires dans des espaces physiques distincts, peut rendre complexe l'observation des dynamiques sociales pour un regard extérieur – les corps bougent à part, sans lien visible pour les réunir –, observer certaines performances dans l'environnement virtuel a quelque chose de fascinant, même sur un écran et vu à la troisième personne. Développer davantage le potentiel artistique de notre outil s'est ainsi rapidement révélé primordial.

Une des particularités de travailler avec des danseurs est qu'ils nous font vite constater les limites de nos propres cadres expérimentaux. Que ce soit en traversant volontairement les limites de l'espace virtuel qui leur est dédié (et au risque d'entrer en collision avec les objets environnants), en dégrafant les capteurs des mains pour les mettre aux pieds, ou bien même en se roulant par terre et en faisant le poirier, ils parcourent l'ensemble des éléments pouvant révéler un caractère ludique et n'hésitent pas à les intégrer à leur composition. Ces derniers voient ainsi dans notre plateforme bien plus qu'un outil de recherche sur le geste, avant tout c'est pour eux une occasion d'explorer un nouveau corps et un nouvel espace de règles.

Observant ainsi notre outil expérimental se faire malmener, l'aspect performatif de l'installation se révèle donc de lui-même et il est décidé en compagnie du chorégraphe Clint Lutes, membre originel du projet, et des danseurs de Hip-Hop Nassim Baddag et Sofian El Boukhari, de monter ensemble un objet artistique en SDR.

Réaliser cette performance contribue ainsi à la richesse de ce projet à au moins deux égards.

- Il nous apparaît alors comme un enjeu social et épistémologique de permettre à la recherche de trouver de nouveaux terrains de valorisation et de rencontre avec le grand public.
- En le présentant à un public divers dans des contextes de rencontres arts-sciences, nous laissons volontairement les limites du projet nous échapper. Laisser les danseurs et le public découvrir et s'approprier l'outil contribue en effet à tracer de nouvelles pistes de recherches et faire émerger de nouveaux questionnements.

Clint Lutes avait déjà soulevé lors des premiers workshops certaines des qualités et objectifs que nous devons atteindre pour développer une forme performative intéressante :

- L'outil doit permettre aux participants de danser
- La danse doit être intéressante à regarder en elle-même
- Le public doit comprendre ce qu'il se passe dans le virtuel

La première phase de la création de la performance a donc lieu au cours de la semaine de symposium *Virtual Creativity, Collective Realities*, où deux jours sont consacrés à un workshop au centre CNRS Pouchet.

Nous y faisons découvrir la plateforme aux deux danseurs qui peuvent explorer leurs nouveaux potentiels et contraintes corporelles. Leur danse étant très portée sur une relation au sol, au poids et aux équilibres, la perspective d'être privé de la perception des pieds constitue une première phase d'adaptation. Les danseurs, placés tour à tour dans les différentes conditions visuelles d'articulations découvrent les sensations singulières de toucher le sol avec des sphères, de voir leurs bras s'agrandir, de dessiner dans l'espace, et surtout de transposer leurs multiples figures au registre permis par ce nouvel environnement.

Observant les danseurs immergés, nous pouvons observer leurs réactions et l'impact des changements visuels sur leurs prises d'initiatives et leur plaisir de bouger ensemble. Nous éditons à leur demande certains paramètres et improvisons également quelques variations pour les surprendre ou leur faire visualiser le potentiel du moteur graphique.

Clint, quant à lui, observe et questionne les différentes manières de donner à voir sur l'espace scénique l'interaction qui se développe dans le virtuel. Que ce soit en touchant les danseurs, en leur parlant, il leur fait prendre conscience de la dualité des réalités spatiales, et devient lui-même un point de pivot entre ces différentes dimensions.

De ces observations et à travers le recueil des différentes impressions (Fig. 75), une première ébauche de scénario se dessine naturellement.



Fig. 75 • Séquence de discussion et d'idéation suite à la première immersion des danseurs dans le dispositif Articulations

Différents tableaux semi-improvisés sont dessinés, délimités temporellement par des signaux envoyés par les danseurs, par un changement de musique, de condition visuelle, ou par l'action directe de Clint. Le rôle de ce dernier devient central. Intégrant pleinement la performance en qualité de médiateur, il permet d'intégrer en quelque sorte le public dans la danse. Au cours des différents tableaux, il influence le mouvement, déplace un capteur d'une main à la cheville, et danse lui aussi au milieu de l'espace.

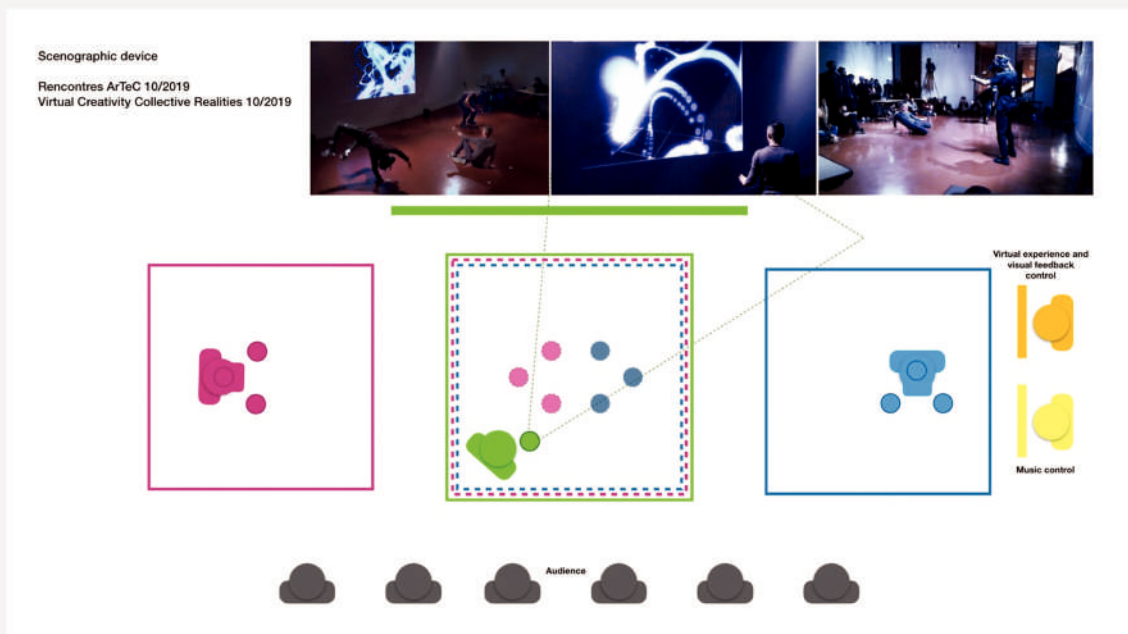


Fig. 76 • Scénographie de la performance

À l'image des phases expérimentales du projet, les deux danseurs ont chacun un espace qui leur est propre, une différence pourtant est cette fois la présence d'un espace central laissé au médiateur pour intégrer la zone virtuelle où les danseurs se rencontrent (Fig. 76).

Les superviseurs VR et le musicien sont disposés en bordure de l'espace scénique, d'où ils pilotent les changements audiovisuels faisant s'enchaîner certains des différents tableaux de la performance.

Le public enfin est disposé tout autour de l'espace, d'une manière leur permettant de voir l'ensemble des membres à l'œuvre, avec en fond visuel la projection de l'environnement virtuel, capté par la caméra du médiateur.

Afin de rendre compte du volume de l'environnement virtuel, nous développons pour Clint un système permettant de manipuler une caméra virtuelle à l'aide d'un capteur de mouvement. Projetée sur un mur, la performance peut ainsi être vue par le public.



Fig. 77 et Fig. 78 • Les deux représentations de la performance Articulations

Deux performances sont proposées en présence d'un public, la première à l'occasion des journées Artec à Enghien-les-Bains le 6 novembre 2019 (Fig. 77), et la seconde le 13 novembre à la salle Rotonde de l'ENSAD (Fig. 78).

Le descriptif complet de la performance peut-être lu dans Vuarnesson et al. (2021) et une vidéo de la captation de la seconde performance peut être visionnée à l'adresse suivante : <https://vimeo.com/392659020>.

Cette vidéo offre un témoignage tangible de nos explorations scientifiques et artistiques et permet de rendre compte de cette approche hybride et transdimensionnelle.

La discussion autour de la question du médiateur a d'ailleurs pu être poursuivie dans Vuarnesson et al. (2021), formalisée par l'approche conceptuelle du *White Rabbit*, celui qui à la manière du lapin blanc d'*Alice au pays des merveilles* fait le lien entre différentes réalités qui se chevauchent.

En cherchant à donner à voir au public la relation qui se construit entre les deux danseurs immergés, le médiateur s'apparente en effet à ce personnage, révélant l'existence de ces différentes dimensions par son propre mouvement. Il incarne l'hybridité de la performance et transforme l'expérience immersive en réalité mixte, dont les jointures se révèlent à la fois à travers les sens visuels, auditifs et tactiles.

Ce matériau esthétique et conceptuel du lapin blanc est donc le fruit même de cette approche performative, il a pu donner lieu à deux workshops de recherche création, invitant durant l'année 2021 des marionnettistes et étudiants du master Artec au lieu-dit de Larret, et plusieurs expérimentations du troisième chapitre de ce manuscrit en sont issues.

Plus qu'une simple valorisation publique d'un projet de recherche-crédation, cette performance apparaît donc comme la condition même de l'émergence de nouvelles questions de design. Certaines conditions non évaluées en laboratoire ont ainsi pu être explorées à travers leurs finalités purement esthétiques (traces de fumée, objets abstraits liants les participants entre eux), et le cadre même du projet se sera vu repousser.

L'approche hybride de la recherche-crédation s'avère tout indiquée pour faire vivre nos questionnements et les laisser ressurgir sous de nouvelles perspectives.

2.3.14 · Discussion sur le projet Articulations

Pour tirer quelques conclusions préliminaires du projet Articulations et les appliquer à ma propre étude, je vais d'abord revenir sur quelques grandes idées exposées jusqu'ici.

Construit par et pour les spécialistes du mouvement, ce projet aura servi de point de jonction entre de multiples disciplines, notamment les mondes de la recherche en design et ceux de la psychologie cognitive.

Plusieurs contributions et intuitions intéressantes ressortent de ce partenariat, liant perception, geste, relation sociale et expérience sensible :

La RV et l'embodiment minimaliste pour l'étude des mécaniques interpersonnelles

Au regard des témoignages parcourus lors des précédentes sections, le concept de Réalité Diminuée Partagée (SDR) est ressorti de nos expérimentations comme un paradigme d'étude pertinent pour l'étude des stratégies de coordination sociale.

Préconisant de laisser au simple langage gestuel le soin de porter l'interaction, la SDR a su faire émerger à travers notre plateforme des relations créatives, parfois intimes, malgré le fait que beaucoup de participants ne se connaissaient pas avant.

En jouant à la fois sur les apparences de l'environnement (*priming*) et des corps (effet Proteus), il nous est apparu possible d'induire chez les participants des états mentaux introspectifs. Le calme et la légèreté induits par le visuel épuré leur ont permis de s'engager parfois au-delà d'eux-mêmes, et d'oublier l'environnement physique autour d'eux.

Les propriétés portables et immersives de la réalité virtuelle auront ainsi permis d'appliquer notre protocole expérimental dans de multiples contextes et d'y récolter ainsi de nombreuses données :

- À travers les informations de position et d'orientation collectées, nous avons pu révéler par exemple une corrélation entre la lenteur du mouvement et le sentiment de proximité entre les participants. Ce type d'observation invite à poursuivre l'étude en développant d'autres questions et intuitions, nous en aborderons quelques-unes dans la section suivante traitant des prochaines étapes du projet.

- Concernant les témoignages recueillis au sein des questionnaires et des différentes interviews, nous avons pu voir à quel point les expériences vécues ont pu être diverses. Que ce soit dans l'amplitude des récits, dans le sens donné au mouvement ou dans la projection de soi, les participants ont tous engagé une part d'eux-mêmes malgré l'incarnation minimaliste. Ces observations invitent quant à elles à explorer davantage les liens entre perception de soi et dynamiques gestuelles, et observer par exemple comment les dynamiques de conditions visuelles peuvent encourager le mouvement ou refocaliser l'attention.

La SDR s'avère donc un outil conceptuel et technique particulièrement adapté pour explorer le lien entre geste et qualité d'expérience, aux sens individuels et relationnels.



Fig. 79 · Des participantes explorant la plateforme lors de la présentation publique du projet à l'ENSAD en novembre 2019

Une coordination hors du registre anthropomorphique

Selon la pensée énaïve, le sens construit au sein d'une expérience dépend de l'interaction que l'on développe à travers elle. C'est le résultat du couplage sensori-moteur entre un corps et ce qu'il perçoit de son environnement, et où l'action est constamment adaptée en conséquence. Lors d'une rencontre sociale, les individus se coordonnent, quand bien même leur perception mutuelle serait minimisée par une interface obstacle, à l'image du paradigme d'Auvray et al. (2009).

Nous avons pu au cours de ce projet observer des résultats similaires, voyant les participants se reconnaître, s'adapter et construire du sens ensemble malgré l'absence d'éléments rappelant le corps humain.

Plus intéressant encore, si une bonne partie de nos participants ont compris dès le début être en interaction avec une autre personne, certains autres ont développé toute leur expérience en ignorant ce fait, mettant néanmoins en place ces mêmes stratégies de coordination et d'adaptation. Certains participants ont témoigné se sentir regardés ou ont mis en place une mimétique sans envisager pourtant la présence humaine derrière les sphères partenaires.

Sans pour autant conclure à une forme de projection sociale et empathique, cette tendance à l'imitation démontre qu'il est possible d'induire du mouvement dynamiquement avec des formes abstraites qui bougent et nous ressemblent. Elle interroge également sur les frontières de cette coordination, et sur l'amplitude de gestes qu'un individu peut emprunter d'une forme numérique. Cette question pourrait s'avérer déterminante pour le développement de parcours utilisateurs dans des interfaces naturelles. Nous y reviendrons en conclusion de ce chapitre.

Des limitations de la SDR pour la co-construction d'une narration

Les différents témoignages recueillis durant les phases expérimentales nous mettent face à l'évidence que chaque participant a pu vivre une expérience différente, et construit son propre raisonnement face à l'expérience d'embodiment minimaliste. Nous avons pu voir des divergences entre intentions et interprétations au sein même de certaines dyades, conduisant parfois à des incompréhensions, à des attentes non assouvies, à du rire. Le geste minimaliste enlève certainement de nombreuses informations qui permettent de contextualiser, nuancer, préciser le sens d'une action, c'est en même temps son défaut et son principal atout. L'accès direct qu'offre la SDR à un registre expressif aussi intime que le geste intuitif nous questionne sur ses pouvoirs et ses limites en tant que modalité interactive.

L'usage du geste reste propice à l'étude de la coordination sociale par le mouvement, mais restreint la capacité de développer des langages plus complexes et précis. Les applications de la SDR doivent donc nécessairement pouvoir tirer profit de cette asymétrie des interprétations subjectives, induite par le mouvement de formes minimalistes.

Cet aspect abstrait du mouvement n'en reste pas moins un outil créatif intéressant pour les danseurs, et nécessiterait d'être exploré davantage à cette fin. Les analyses précédentes laissent peut-être envisager un effet lassant, pouvant se manifester dans le cas d'un usage répété, et demandant de développer davantage la plateforme pour renforcer son lot de surprises perceptives et d'altérations stimulantes.

La recherche transdisciplinaire pour transcender les pratiques du design

Articulations offre finalement un témoignage de la pertinence de l'approche transdisciplinaire pour déconstruire nos réflexes et certitudes de conception. Croisant les champs des sciences cognitives, de l'art et du design, nos hypothèses de recherche ont pu être éprouvées, déconstruites et malmenées par chacun des membres du projet au cours des workshops préliminaires.

À l'opposé des danseurs, pour qui la pratique est accessible à l'envie, nos places en tant que designers ont pu plusieurs fois apparaître comme un ensemble important de contraintes, du fait de la lourdeur de l'installation numérique et de son lot de contrariétés. Pourtant en les amenant à s'approprier la plateforme, nous avons pu nous questionner sur la relativité de nos propres principes de designers. Voyant les capteurs de réalité virtuelle passer de main en main, comme des objets de disembodiment esthétique, voyant certains traverser volontairement les limites de l'espace virtuel par défiance et espièglerie, ou écoutant encore la longue liste de fonctionnalités qu'ils auraient aimé explorer, nous avons pu voir la technologie de réalité virtuelle comme un outil permettant de générer des idées, d'approcher collectivement de nouvelles sensations, de tenter de les saisir et de les nommer ensemble malgré la diversité de nos langages.

Le projet Articulations a permis de mener plusieurs événements scientifiques et artistiques, au cours desquels nous avons à chaque fois pu repousser les manières d'appréhender ces espaces et relations minimalistes. Cet objet d'étude ne cesse encore de nous échapper et de renouveler son lot de questions, offrant à nos différentes disciplines quelque chose de bien plus fort qu'une simple somme de nos contributions respectives.

2.3.15 • Prochaines étapes du projet

Articulations est à l'heure de l'écriture de ces lignes un projet toujours en cours. Un nouveau protocole expérimental fut développé courant 2020 sur la base de la plateforme existante, et annonçait une nouvelle phase expérimentale inspirée du « jeu du miroir » de Noy et al. (2011). Cette expérience, chargée d'observer les dynamiques de mimétique en SDR devait avoir lieu en partenariat avec l'Université de Vincennes mais a dû être annulée à cause des restrictions sanitaires. Elle est toujours envisagée et devrait être reprogrammée dès que la situation le permettra.

Durant l'année 2021, nous avons pu organiser deux workshops créatifs impliquant marionnettistes, étudiants de master et l'équipe du projet Articulations. Une présentation publique a pu en être issue à la fin de la seconde semaine³².

Outre ces horizons en sciences cognitives et les explorations créatives en workshops, le projet offre de nombreuses perspectives de recherches ultérieures, détaillées dans nos articles Laroche et al. (2021) et Vuarnesson et al. (2021). Parmi elles :

- Explorer davantage nos tendances à construire des histoires - Les divergences d'interprétation observées rappellent les travaux sur les biais cognitifs de Heider et Simmel (1944) et nous invitent à impliquer les participants davantage dans l'explication de leurs propres constructions de sens. Mêlant théorie ancrée et approche phénoménologique, nous

³² Un descriptif plus complet du workshop peut être lu ici : <https://spatialmedia.ensadlab.fr/2021/05/workshop-articulation-lapin-blanc/>

pourrions entamer la déconstruction de performances singulières en SDR et tenter ainsi de comprendre davantage la place du geste dans nos mécanismes de construction sociale.

- Les phénomènes et conséquences liés au disembodiment - De nombreuses études ont permis d'établir un lien direct entre la perception de notre corps et la manière dont cela altère nos actions, nos émotions et l'impact sur nos comportements sociaux (Serino et al., 2013; De Jaegher, 2013; Tajadura-Jiménez et al., 2017; Valori et al., 2021). La capacité de notre plateforme à contrôler précisément les paradigmes visuels pourrait nous amener à proposer différentes configurations de rencontre sociale, voyant changer les enveloppes corporelles et les niveaux de similarité entre les différents participants. L'emploi de la SDR trouverait ainsi une certaine utilité dans l'observation et l'étude de certains phénomènes de troubles corporels, individuels ou relationnels.

- Développer un outil de pure création artistique - Articulations nous invite à développer davantage l'application de la SDR pour la création de chorégraphies et autres formes esthétiques en mouvement. En jouant davantage de l'effet Proteus, nous pourrions par exemple envisager un embodiment dans des corps polymorphes et hybrides, afin d'influer directement sur les propositions gestuelles à des fins d'écriture de pièces dansées. À l'image de la performance d'Articulations en novembre 2019, nous pourrions envisager également de poursuivre l'exploration de nouvelles formes de visualisations et scénographies hybrides, questionnant la relation conjuguée des immersants avec le public.

- Faire parler les données de mouvement relationnel - Enfin nous avons pu collecter de nombreuses données de performances, dont certaines ont permis de faire ressortir quelques tendances, décrites dans Laroche et al. (2021). Certains travaux proposent une traduction haut niveau des mouvements pour y reconnaître des qualités de gestes, permettant de lier gestes et émotions ou d'envisager des modalités interactives plus sensibles (Aristidou et al., 2015; Fdili Alaoui et al., 2017; Senecal et al., 2020; Garcia 2020). Face à la diversité des données de performances collectées, et concevant les capacités actuelles de la plateforme, il semble intéressant de poursuivre le travail d'analyse dans ce sens, nous y consacrerons pour cela une partie du chapitre III.

Mises ici en perspective avec notre étude sur la générativité du langage interactif dans les interfaces numériques spatialisées, nous finirons ce chapitre avec quelques préconisations à destination des designers d'interfaces immersives, inspirées des observations précédentes. Celles-ci nous permettront d'établir un plan expérimental pour le prochain chapitre.

2.4 • Conclusions pour le design d'expériences naturelles

2.4.1 • Résumé du chapitre

Au début de ce chapitre nous avons vu que le langage interactif numérique pouvait prendre des formes multiples, en tenant compte de nombreuses informations en simultané et en y réagissant à travers de multiples canaux sensoriels. Notre inspiration sur les activités d'improvisation préconisait alors la multimodalité parcimonieuse, préférant des adaptations minimalistes personnalisées à l'abondance des réactions sensorielles en simultanées. Les aspects très personnels de la construction de sens et de la réaction à l'information abstraite invitaient alors à hiérarchiser les réponses adaptatives en fonction de leur intelligibilité et de leur impact estimé sur la qualité d'expérience.

Pour faciliter cette réflexion, nous avons abordé un développement d'outils de design, permettant d'estimer rapidement les combinaisons envisageables entre entrées et sorties au sein d'un contexte expérientiel donné.

Après avoir testé l'un d'entre eux dans plusieurs contextes industriels différents, il s'est avéré que l'enchaînement entre sensibilisation théorique, déconstruction méthodique et idéation ciblée était pertinent pour permettre à des personnes non initiées de s'approprier cette problématique. Il semble en revanche évident que l'expérience directe de l'interaction est préférable à une simple estimation du bénéfice sur la qualité d'expérience.

Je peux donc à ce stade préconiser l'emploi de tels outils de design pour stimuler l'innovation, sans négliger pour autant la mise en pratique des fonctionnalités imaginées lorsque cela est possible.

Au sein du projet Articulations, nous avons pu ensuite voir en quoi le minimalisme de l'information et l'adaptation directe du langage interactif portaient une dimension intrinsèquement motivante pour des utilisateurs immergés ensemble. À partir de gestes intuitifs, les participants ont improvisé des expériences qui leur étaient propres, mettant leurs expressivités et créativité singulières au premier plan.

Nous y avons vu comment la réalité diminuée partagée permettait de maximiser l'attention sur tout en laissant la place aux imaginaires individuels de s'exprimer et de construire du sens du simple mouvement.

Nous avons également vu les liens entre perception corporelle, similarité avec le partenaire, et stratégies gestuelles déployées. Les altérations perceptives se sont révélées en effet déterminantes pour orienter l'attention, influencer la sensation de présence, et permettre à la relation d'atteindre des niveaux de créativité et de plaisir supérieurs.

Ce projet nous invite donc à penser la générativité d'un langage naturel au regard de ce que les interfaces permettent d'y observer, c'est-à-dire contextualiser l'information en reflet aux actions et au développement narratif qui y semble lisible.

Dans notre cas, cette proposition questionne la possibilité même d'extraire un sens universel du simple mouvement et des moyens pour y parvenir. Intégrer les dimensions corporelles et cognitives dans l'échange interactif permettrait alors de co-développer un narratif avec les utilisateurs et d'imaginer de nouvelles formes d'interfaces improvisantes comme celles que nous envisagions en introduction de ce manuscrit.

Pour ce faire, je proposerai à présent et en lien avec les observations précédentes, quelques directives pour la conception de nouvelles formes de langages naturels et d'interactions humain/machine.

2.4.2 • Un langage interactif extra-naturel entre l'humain et la machine

Nous avons vu l'extrême souplesse dont peut faire preuve la cognition humaine à l'égard des changements perceptifs qui surviennent et altèrent les règles de la communication. Nous avons constaté la diversité des mécanismes d'adaptation déployés, permettant de développer intuitivement des stratégies d'action, ce, malgré l'aspect évolutif du paradigme virtuel.

Nous avons vu également que des mécanismes de coordination peuvent apparaître entre un individu et l'interface, au-delà du champ anthropomorphique. Cette sorte d'entre deux *extra-naturel*, où les frontières entre l'origine humaine et la matière virtuelle ne sont plus aussi évidentes, se suffit d'un ensemble d'informations épurées et peut envisager d'être modulé en fonction de la situation.

Il nous semble intéressant au vu de cette observation, de plaider pour la réutilisation de certains principes issus de la SDR à des applications plus générales, qu'elles soient multi ou mono-utilisateurs.

Cette interaction *extra-naturelle* pourrait prendre forme à travers les quelques idées suivantes :

• Un rapport d'altérité aux frontières de l'humain

En offrant de nouvelles manières de représenter le corps et les gestes, les interfaces spatialisées permettent de nouer des expériences sociales riches, toujours dans un registre expressif naturel mais ne cherchant pas nécessairement à imiter le monde réel.

Les observations faites au cours de cette phase expérimentale nous amènent à préconiser un design d'expérience ne cherchant pas la « fusion » avec l'humain, ni de tomber dans les travers de l'humanisation par anthropomorphisme mais plutôt d'explorer un entre-deux extra-naturel.

À l'heure où de nombreux services proposent de remplacer la présence humaine en en singeant les conversations à l'aide de *chatbots*, d'avatars ultra-réalistes ou de voix générées par ordinateurs, nous pensons que l'usage du minimaliste peut offrir de nombreux potentiels expérientiels tout en maintenant une séparation claire entre l'individu et l'interface.

Cet intervalle ambigu laisse envisager de nouvelles formes de parcours, mettant en jeu la coordination et l'altérité tout en évitant les fausses promesses que les avatars anthropomorphes peuvent induire.

S'il est difficile (et non souhaitable) de reproduire des relationnalités avec la machine aussi riches que celles des rapports sociaux humains, jouer ainsi des similitudes corporelles et de l'imitation des dynamiques spatiales et temporelles apparaît comme une piste concrète vers la conception d'expériences numériques plus organiques.

• Le corps perçu comme lieu d'affordances

Dans un tel contexte extra-naturel, le corps perçu est lui-même bien plus qu'un signe d'identification. Si l'une des premières actions en contexte immersif consiste à se spécifier soi-même, l'apparence de l'avatar est également primordiale dans l'élaboration des stratégies d'interaction.

Nous avons vu à quel point la seule perception des mains pouvait induire des gestualités particulières, donnant des impressions de légèreté, de fragmentation. L'avatar renseigne ainsi immédiatement de ses potentiels et influence l'action à venir. Plus les apparences seront minimalistes, plus l'interaction sera personnelle, car basée sur l'imaginaire subjectif et les métaphores. À l'inverse, une apparence corporelle proposant des affordances précises semblera naturellement destinée à la réalisation d'une tâche (des mains d'apparences humaines inviteront à la saisie d'objets, un pinceau et une palette de couleur seront destinées à peindre une surface). Enfin les premières, plus abstraites seront davantage appropriées à des expériences de type SELF, car invitant plus à l'introspection, à l'exploration intuitive. Les secondes, plus franches et directes trouveront leur intérêt dans des expériences de type ACT, où prime la satisfaction de l'accomplissement de tâches proposées.

Nous préconisons donc d'explorer davantage le rôle que le corps perçu peut revêtir, et les modalités selon lesquelles on peut le voir évoluer à travers différents niveaux d'abstraction et

de complexité. Celui-ci est le premier vecteur de construction de sens, et relie naturellement à l'autre, à l'environnement, et aux actions qui pourront être développées avec eux³³.

• Créer un rapport affectif et personnalisé avec l'environnement

Central malgré sa nature englobante, l'environnement joue lui aussi un rôle clé quant à l'induction de sentiments et de stratégies d'action.

Jouant des échelles, distances, lumières ou contrastes, il influe directement sur le champ d'attention de l'utilisateur et peut ainsi mettre plus ou moins en valeur certaines informations numériques.

Si l'accomplissement d'une tâche requiert l'attention complète de l'utilisateur, l'environnement trouvera un intérêt certain à diminuer toute forme de perturbation et à ne susciter qu'un intérêt diffus et modéré. À l'inverse, si l'expérience invite à l'exploration ou à la prise de risque il pourra être plus réactif à l'action et aux situations rencontrées.

En tous les cas il assure un cadre à toute l'expérience et se doit de faciliter la tâche principale, il doit pour cela rendre évidentes certaines règles sur lesquelles toute l'interaction va reposer. À la différence du rapport d'altérité exposé précédemment, on est davantage ici dans un rapport affectif. Les adaptations environnementales doivent être pour cela calibrées par rapport à la disponibilité attentionnelle instantanée de l'utilisateur.

2.4.3 • Portée des choix de design et horizons de travail

Si le design adaptatif est un sujet clé qui ne cessera de trouver des applications dans les nombreux domaines de l'industrie, de la santé, ou dans tous types d'applications grand public, certaines tendances s'orientent aujourd'hui vers une récolte systématique de jeux massifs de données pour l'analyse de comportements sociaux ou émotionnels, souvent en dissimulant la réalité des usages faits de ces mêmes données.

Penser l'adaptation à l'aide de ces principes et technologies invasifs questionne les limites éthiques que nous nous devons de maintenir en tant que designer, pour pousser au contraire l'innovation vers des approches préservant le bien-être et le respect de la vie privée des utilisateurs.

L'analyse des performances d'Articulations nous a montré que le geste intuitif porte en lui suffisamment d'informations pour permettre de vivre une expérience adaptative émotionnellement riche tout en étant extrêmement personnelle. Qui plus est, ces données de mouvement sont directement accessibles par les technologies de réalité virtuelle et ne nécessitent pas d'équipements supplémentaires. Enfin ces dernières ne trompent pas sur la réalité de leur fonction, tous les modules de capture gestuelle étant clairement identifiés et manipulés par l'utilisateur.

En l'état actuel des connaissances, nous nous heurtons encore à quelques incertitudes sur les bonnes manières de traiter l'information gestuelle intuitive.

Comme nous le disions précédemment, différents niveaux sémantiques sont sollicités par le geste humain, et même s'ils sont issus d'une base de sens commun, ils restent néanmoins complexes à traduire d'une manière explicite.

³³ Pour citer Abraham Maslow: « J'imagine qu'il est tentant, si le seul outil dont vous disposez est un marteau, de tout considérer comme un clou » (1966)

Dans le souhait de poursuivre le travail en vue d'un développement d'interfaces humain/machine autonomes, certaines questions subsistent donc :

- Dans quelle mesure les gestes font-ils appel à l'interprétation individuelle, et existe-t-il des invariants pouvant être communément reconnus par tous ?
- À quels niveaux sémantiques ces éventuels invariants se définissent-ils, et existe-t-il des unités de mesure pour les évaluer ?
- Comment opérer des adaptations multimodales à partir de ces éventuelles mesures, peut-on envisager la conception d'un langage interactif naturel de cette manière ?

Dans le but de répondre à ces différentes questions, nous prendrons dans le prochain chapitre une posture plus personnelle consistant à développer une approche pratique en design d'interface, fondée sur l'ensemble des outils et observations précédentes.

Nous tenterons d'y faire parler nos données de mouvement, afin de comprendre ce qu'elles peuvent révéler d'une situation, puis nous entraînerons des machines à y réagir de manière automatisée, dans le but de conduire peut-être à l'émergence d'états cognitifs similaires à ceux approchés en SDR.

Geste improvisé et interfaces naturelles

**Vers de nouveaux fondamentaux
pour le design d'expériences optimales
en médiations immersives**

3.

**Des descripteurs
de geste sensible pour le
développement de langages
naturels en médiation spatiale**

3.1 • Introduction

3.1.1 • L'adoption d'un point de vue ancré et situé

Dans les parties précédentes nous avons pu identifier certains enjeux des NUIs sous-tendant l'engagement créatif d'individus en interaction, en liant notamment mécanismes de perception et de motivation.

Cherchant à estimer l'importance des facteurs individuels et contextuels sur le déroulement d'une expérience, nous avons pu identifier de nombreuses variables pouvant influencer sur l'action d'un utilisateur, et de nombreuses manières d'amener la machine à y formuler une réponse.

Penser une expérience numérique adaptée à la sensibilité d'un individu implique de pouvoir en lire le caractère, le comprendre, mais aussi de le contextualiser au regard du lien et du temps qui l'accueillent.

Gardant notre socle conceptuel des activités d'improvisation partagée, nous avons ensuite exploré comment deux participants peuvent co-crédier du sens à partir du mouvement intuitif au sein d'une expérience numérique spatialisée. La perception de soi, la différence avec l'autre, l'esthétique de l'environnement et la liberté laissée à l'exploration se sont toutes avérées des considérations déterminantes sur les volontés d'engagement des participants. Inviter un individu à user de sa sensibilité et de sa créativité au sein même d'une expérience numérique implique, d'un point de vue technique comme conceptuel, de voir l'expérience non pas comme une succession d'interactions avec des fonctionnalités mais davantage comme une rencontre avec quelque chose d'« autre », comme un langage en construction. C'est ce que nous proposons d'explorer à présent.

Face à l'impasse que la volonté de systématisation du langage intuitif et sensible laisse entrevoir, il apparaît nécessaire d'adopter au cours de ce chapitre une approche différente. Ne pouvant proprement décontextualiser la question du langage à la singularité même des individus considérés, ce travail doit se mener en poursuivant un raisonnement singulier, incarné et situé.

Au-delà de l'application des recommandations faites à la fin du chapitre précédent pour la conception d'interfaces naturelles, je prends le choix de mettre en jeu ici ma propre sensibilité de chercheur et de designer. Je basculerai pour cela intégralement vers l'usage du pronom « je », non pas pour me placer comme le centre de ma recherche mais pour m'affirmer comme son point de départ et le responsable de ses évolutions.

Ainsi et si le ton employé durant ce chapitre pourra parfois s'apparenter à un carnet de notes – proposant au lecteur de m'accompagner dans la déconstruction de multiples questions, qu'elles soient d'ordre techniques ou conceptuelles – il reste néanmoins nécessaire pour justifier l'entièreté de mon raisonnement et de ses résolutions.

Ce positionnement me permet d'itérer à travers des intuitions personnelles, et de développer une recherche résolument axée sur une pratique en design. Les contributions proposées seront alors un reflet même de ce que ce changement d'approche rend possible.

3.1.2 • Un langage naturel adressant deux registres attentionnels

Je souhaite tout d'abord rendre compte d'un basculement affectant le caractère même de mon objet de recherche.

Auparavant centré autour du concept imprécis d'adaptativité - et dont le scope de recherche en design numérique s'avère finalement limitant - celui-ci s'est vu malmener au fil de mes expériences de danse et d'immersion numérique, jusqu'à finalement s'essentialiser sous la forme d'une sensation.

Une sensation est complexe à décrire par les mots, mais je me risquerai ici à la résumer comme un état fragmenté, dû à une dissociation de l'attention portée sur deux formes interactives conjuguées, liant chacune mouvement et réaction sensible.

La première de ces interactions prend forme dans le contexte particulier de la SDR qui, à titre personnel, m'aura laissé apercevoir à plusieurs reprises cet équilibre fragile entre contrôle et dérive dont je parlais en introduction de ce manuscrit.

La réduction des corps et la similarité des avatars, ôtés du poids des biais sociaux et non-verbaux, purent favoriser semble-t-il, l'apparition de mécanismes naturels d'imitation et de coordination, allant jusqu'à cristalliser le phénomène même de résonance créative.

La sensation d'être écouté et compris, alors même que notre agentivité est incertaine, donne un pouvoir affectif séduisant à l'échange. Se trouver ainsi en résonance avec ce mouvement dont les origines restent imprécises révèle une nouvelle vallée de l'étrange, où ce n'est pas la gêne provoquée par l'apparence trop réaliste qui ressort, mais plutôt la familiarité étonnante qu'ils nous évoquent.

Par son caractère improvisé et libre, à la fois invitant et questionnant, l'échange revêt alors un caractère intuitif, ludique et profondément personnel.

La deuxième forme d'interaction m'est apparue régulièrement lors des différents workshops expérimentaux et met en lumière la relation étroite que nous construisons entre designers et danseurs immersants. Les premiers y accompagnent les seconds en leur proposant des variations visuelles auxquelles ils ne sont pas toujours préparés. Ces changements influent directement sur la qualité de leurs mouvements et sur la qualité de l'expérience elle-même. Du point de vue de l'immersant, l'état vécu est alors étrange. On ne peut qu'accepter que ce qui nous semble acquis puisse disparaître et être remplacé sans crier gare, et que cela conduira *in fine* à un dénouement appréciable. On remet son sort alors à quelque chose d'ambiant, d'englobant, qu'on imagine doué d'une compréhension plus large que ce qui nous est directement perceptible. On porte alors une part de notre conscience sur un ailleurs qui finit par faire partie de notre conception du monde.

Cette dualité de l'attention portée sur des interactions tantôt explicites tantôt implicites conditionne je crois mon propre lâcher-prise en immersion. Elle donne une trame à ce qui me semble maintenant nécessaire d'explorer, et qui témoigne du potentiel incroyable des interfaces naturelles spatialisées: voir l'outil numérique comme un partenaire protéiforme, accompagnant l'utilisateur dans un espace où ses propres limites ne sont plus évidentes, où ses sensations et son intuition sont reines, et où ce qu'il y apprend trouve son sens bien au-delà du temps de l'expérience.

3.1.3 • Stratégie expérimentale

Dans les sections qui suivent je me baserai sur les concepts développés précédemment et tenterai d'en appliquer l'essentiel à des prototypes d'expériences mono et multi-utilisateur.

Je prendrai comme matériau de travail les données de mouvements récoltées lors du projet Articulations et appliquerai à mon propre cas la trame d'idéation présentée dans la section 2-2. Cette dernière permettra de segmenter naturellement les différentes étapes de développement, et conduira finalement à la conception de prototypes expérimentaux conclusifs, témoignant du changement de regard sur mon objet de recherche, comme exposé en introduction de ce chapitre.

Le travail se découpera donc comme suit :

- Cherchant à définir tout d'abord la grammaire de notre langage interactif, par laquelle les différentes réponses et adaptations comportementales de notre expérience pourront être pensées, cette première partie consistera à identifier ce qui dans les données de mouvement pourra constituer une matière suffisante pour justifier l'adaptation.

Usant d'outils développés pour l'occasion, je rendrai compte de plusieurs phases de visionnage des données, extrayant parmi les éléments dignes d'intérêt deux caractères esthétiques particuliers présents dans le mouvement : l'expressivité individuelle et la cohésion du mouvement relationnel.

Quelques travaux de référence sur la reconnaissance émotionnelle me permettront d'imaginer une méthode pour parvenir à mesurer ces métriques en temps réel, malgré leurs aspects subjectifs.

- Afin d'apprendre à la machine à reconnaître en temps réel des caractères esthétiques au sein du mouvement, j'entrepris une première phase d'annotation des données de performances, me fiant ici à ma seule appréciation. Ensuite, je convertis les données de mouvements en descripteurs de gestes, afin de leur donner un format plus explicite que celui des simples données de position et d'orientation.

Ces deux phases me permettent de constituer un jeu d'entraînement avec lequel j'entame ensuite une phase d'apprentissage automatisée. À travers trois problèmes de classification et de régression je parviens à amener la machine à imiter ma propre appréciation du mouvement, me permettant ensuite d'en décliner l'usage pour des applications temps-réel. Cette phase du travail me permet de plus d'identifier les descripteurs les plus à même de « faire parler » les données de geste, permettant d'esquisser une approche originale de l'exploitation des mouvements individuels et relationnels, laquelle pourra être réutilisée par la suite dans mes différents contextes applicatifs.

- La troisième phase consiste finalement à imaginer un ensemble de prototypes, mettant en scène les réactions adaptatives pouvant être performés par le système numérique en fonction des données accessibles.

J'envisage pour cela deux approches, à l'image des deux formes d'interaction décrites plus tôt :

• La première est ambiante et implicite, à l'image de la relation englobante entre designer et immersant. Elle propose l'exploration de différents paysages affectifs, où le geste et l'environnement sont liés d'une manière inconsciente mais néanmoins perceptible. Les participants sont invités à apprécier les fluctuations de la scène, tout en essayant de comprendre

leur influence sur ces dernières. Ce sont ici les différents descripteurs de geste qui manipulent les réactions ambiantes, et le caractère abstrait de l'interaction invite plutôt à la retenue et au « bouger juste ». Le virtuel s'habite alors d'une manière ambiante et plurielle.

- La seconde est dynamique et explicite, et vise à reproduire la sensation de contrôle et de dérive permise par la sensation d'altérité. Je me base ici sur un concept proposé lors d'un nouveau workshop d'Articulations et que j'ai nommé le danseur médian. Celui-ci se trouve être une entité intermédiaire, générée par la rencontre de deux séquences de mouvements, et laissant apparaître un troisième danseur qui intègre les dynamiques de mouvements des deux participants à la fois. Agrémenté d'un facteur de poids, le danseur médian peut progressivement glisser vers les caractères de l'un ou l'autre des deux participants, leur laissant tous les deux la sensation d'avoir un contrôle variable sur celui-ci.

Ces deux preuves de concept m'amènent à finalement à formuler quelques observations préliminaires au chapitre final et conclusif de cette thèse de recherche-création.

3.2 • Extraire du sens de la SDR

Durant cette première phase de travail, je souhaite identifier ce qui dans mes futurs prototypes peut être considéré comme une donnée objective intégrable et pourrait *in fine* servir de base à leurs adaptations sensibles. Cherchant à développer ces prototypes pour des expériences immersives mono-utilisateur, je souhaite utiliser l'information accessible, et comprendre comment en extraire du sens.

Lors des phases expérimentales d'Articulations nous avons pu constater les propriétés particulières d'un échange entièrement basé sur le mouvement des mains et de la tête, et l'étonnante capacité des utilisateurs à en développer un narratif engageant.

L'absence de langage non-verbal autre que le mouvement des sphères a, certes, rendu impossible le fait de nuancer l'action et a pu entraîner parfois des incompréhensions voire des biais d'interprétation. Certains sujets ont en effet pu témoigner des difficultés qu'ils ont eu à se comprendre, prenant parfois pour de l'agression certaines invitations amicales à l'échange. Pourtant nous pouvons reconnaître également la richesse créative de certains de ces échanges, mise en perspective avec les commentaires passionnés de nos participants sur leur expérience vécue.

Il me semble important de comprendre ce qui se joue ici et ce qui est réellement contenu dans les données de gestes. Pour cela je rends compte d'une phase de visionnage de ces données de mouvement, rendue possible par le développement d'outils spécialement conçus à cette fin, et d'une série de discussions entreprises avec les différents membres du projet Articulations. J'y observe à nouveau que plusieurs niveaux sémantiques se rencontrent, mais que seuls certains d'entre eux sont suffisamment objectifs pour qualifier les performances individuelles et relationnelles de nos participants.

À l'issue de cette section, j'invoque une littérature spécialisée sur la reconnaissance émotionnelle par analyse du mouvement, et présente la marche à suivre pour parvenir à doter la machine de capacités de mesure de ces caractères en temps réel.

3.2.1 • Un outil d'analyse sur-mesure

Afin de pouvoir apprécier les dizaines de performances accumulées lors des précédentes phases expérimentales du projet, j'entreprends dans un premier temps le développement d'outils dédiés à leur visionnage. La plateforme expérimentale de réalité virtuelle ayant été développée de manière modulaire, elle peut être facilement agrémentée de fonctionnalités nouvelles. Aussi, le programme est rapidement adapté à ces nouveaux besoins.

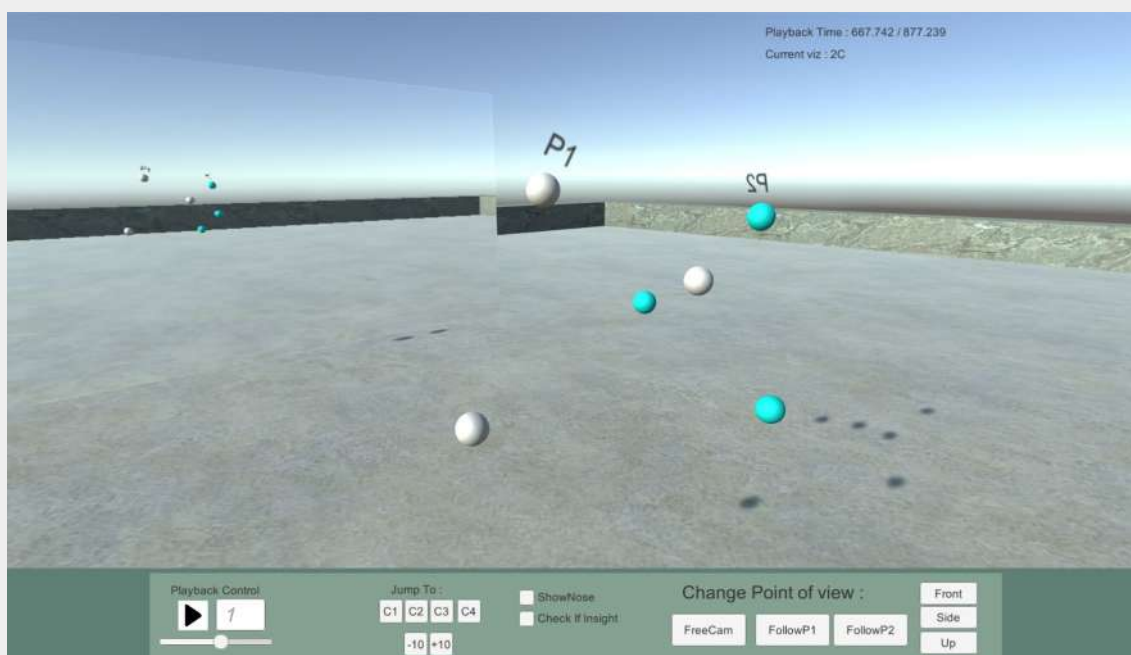


Fig. 80 • Accédant directement aux fichiers de performances présents dans l'arborescence du projet, une interface de contrôle permet de piloter le visionnage de la performance, tout en pouvant en contrôler la vitesse de défilement et le point de vue

Ci-dessus, on peut voir un rendu du fichier de performance en cours de lecture (Fig. 80). À l'aide de la souris et du clavier, la caméra peut être déplacée et orientée à l'envie autour des sphères. À travers l'usage des boutons présents en bas à droite de l'interface, celle-ci peut prendre successivement les points de vue des danseurs, ou alterner entre une position de face, de côté et du dessus. Un mode de caméra orbitale peut également être activé afin de faire tourner automatiquement le point de vue autour des participants et rendre ainsi mieux compte de la sensation de volume.

D'autres contrôles permettent de naviguer rapidement dans le temps, avec un bouton de lecture qui permet de pauser temporairement la performance, une barre de vitesse permettant de régler la rapidité de lecture, et différents boutons qui permettent de passer rapidement d'une condition à une autre ou de faire des sauts de quelques secondes en avant et en arrière.

Des paramètres supplémentaires offrent la possibilité d'ajouter un nez sur les sphères de têtes ou "d'allumer" les différentes sphères lorsqu'elles sont dans le champ de vision du partenaire

- ces deux fonctionnalités permettent de pallier l'absence d'information d'orientation des sphères, rendant par exemple impossible de savoir où se porte le regard d'un participant.

À l'occasion des différentes sessions de travail au cours desquelles les membres du projet Articulations se rencontrent, il est proposé de réaliser collectivement ce travail de visionnage. Le programme est donc envoyé aux différents annotateurs qui peuvent chacun visionner chez eux les performances et en réaliser un travail d'annotation.

3.2.2 • Qualifier l'interaction en SDR

Une démarche d'annotation des performances est entreprise afin de comparer nos appréciations et voir comment chacun peut extraire du sens des rapports sociaux à l'œuvre. Nous discutons dans un premier temps des meilleures manières d'étiqueter les performances gestuelles, ces dernières pouvant être analysées à plusieurs niveaux.

Devons-nous étudier ce qu'il se passe au niveau individuel ? Au niveau de la relation ? Doit-on utiliser une visualisation améliorée pour se rendre compte par exemple de l'orientation des sphères, ou bien doit-on éprouver la relation à travers le point de vue des participants eux-mêmes ? Doit-on enfin différencier visuellement les deux participants ou bien les laisser vêtus de leur couleur blanche originale ?

En bref, devons-nous recourir à des aides visuelles afin de faire davantage ressortir les informations contenues, ou vaut-il mieux préserver le minimalisme de la performance et laisser davantage notre intuition faire le travail d'interprétation ?

Nous abordons finalement cet exercice sous l'angle de l'intuitif, laissant les idées ressortir naturellement et sans en biaiser le raisonnement.

Pour ma part, je suis marqué à de multiples reprises par le caractère fascinant de ces sphères en mouvement. Ce qui m'apparaît c'est l'étonnante expressivité des sphères, et le degré avec lequel il m'est possible de me projeter dans leur relation.

De multiples histoires s'y racontent de toute évidence, tandis que des personnalités très expressives et différentes en émergent.

Il faut reconnaître que mon esprit est à ce moment habitué à identifier une tête et des mains et à projeter le mouvement des sphères sur un corps invisible, là où quelqu'un d'autre pourrait simplement voir trois sphères flottantes. L'éventualité de biaiser mon raisonnement par un excès de projection et d'interprétation y est un risque important.

Pourtant et malgré cette habitude, les individus disparaissent parfois à mes yeux, et ce, au profit d'un amas collectif de mouvements poétiques. Dans ces moments particuliers, il n'est plus possible de différencier qui est qui. L'ensemble apparaît alors harmonieux, comme si les participants atteignaient une sorte d'unicité dans leur condition d'être minimalisés.

Noy et al. décrivent justement les moments d'unité en danse comme des « moments spéciaux, marqués par la dissolution des frontières entre le soi et l'autre, émergeant d'une interaction coordonnée continue entre les individus » (2015). Cette définition semble se rapprocher de ce qui me semble transparaître de certains de ces enregistrements.

S'il m'est évident que ces données contiennent une information très riche, il m'est nécessaire de confronter ces intuitions avec les autres membres du projet. Nous réunissons alors nos notes et voyons différents niveaux d'interprétations en émerger.

D'un point de vue quantifiable, on relève plusieurs commentaires traitant de :

- L'usage des niveaux explorés sur l'axe vertical
- La tendance à occuper l'espace horizontal d'une manière ample, à se déplacer ou à rester statique
- La tendance de chaque participant à parcourir sa propre kinésphère³⁴
- La quantité de mouvement, l'aspect statique ou actif

Traitant des dynamiques purement relationnelles, on remarque des commentaires sur :

- L'exploration de la kinésphère de l'autre
- La proximité relative de l'un par rapport à l'autre
- Le fait de traverser l'espace intime de l'autre, de se superposer
- Finir le mouvement de l'autre
- S'imiter, s'alterner, s'attendre, se tourner autour
- Se suivre ou se fuir

Selon les commentaires, le mouvement apparaît parfois comme :

- Désorganisé, confus, symétrique
- Dansant, jouant, combatif
- En phase

Certains qualificatifs plus haut-niveau viennent donner un sens à l'expérience sociale :

- Être guideur ou guidé
- Faire des signes symboliques/figuratifs (dire bonjour)
- Être à l'écoute, chercher l'attention
- Taquiner, repousser, dans l'attente,
- Collaborer, hésiter,
- Être en accord ou en désaccord
- Être en tension ou en résolution
- Dégager une frustration

Enfin, certains commentaires traitent de l'expérience de visionnage, où l'annotateur peut ressentir lui-même :

- Une forme d'ennui
- De la confusion
- Une frustration

On dénote donc différents niveaux de lecture, rappelant les registres sémantiques relevés dans les commentaires des performances d'Articulations (voir 2.3.7). Certains sont aisément mesurables par des outils mathématiques, d'autres plutôt basés sur une projection empathique de soi.

Nous avons ensuite reproduit l'exercice, cette fois-ci sur une performance commune, afin de voir si cette diversité d'annotation est le fait des individus ou des performances elles-mêmes.

³⁴ La kinésphère désigne l'espace accessible par les membres d'une personne sur trois dimensions, délimitant son espace personnel.

3.2.3 • Annotations comparées d'une même performance

Dans le but de comprendre ce qu'il peut être perçu collectivement au sein du mouvement minimaliste, nous décidons de poursuivre l'exercice en travaillant chacun de notre côté sur une même performance.

Nous précisons cette fois une liste de thématiques pour cadrer la visualisation et les degrés de lecture.

Nous sommes invités à relever :

- Les moments qui apparaissent forts et touchants
- Les indices responsables de ces séquences marquantes
- Les événements qui rendent curieux ou qui ennuit
- Les moments de modulation affective dans le duo
- Les sensations subjectives que quelque chose commence ou se termine
- Les perspectives et points de vue les plus appréciés
- Les moments où un changement de point de vue fut requis

Ces indices temporels peuvent être classifiés en tant qu'événement précis dans le temps (un code temporel précis) ou par une bande de temps plus ou moins large (disposant de deux bornes temporelles).

La performance choisie est celle du couple P15 et P16³⁵, sélectionnée parmi celles n'ayant pas fait encore l'objet d'une visualisation.

Cette phase de visionnage nous amène à nouveau à obtenir des styles d'annotations bien différents (à noter que les annotateurs n'étaient pas invités à lire au préalable les commentaires post-expérience des participants³⁶)

Comme nous pouvons le voir sur la figure page suivante (Fig. 81), certains annotateurs ont davantage isolé des événements sur un moment précis (matérialisé par un point), tandis que d'autres les ont annotés sur des périodes données (bandes rouges et vertes).

Un certain nombre d'événements sont néanmoins collectivement relevés, sur lesquels nous allons nous attarder.

³⁵ L'expérience peut être visionnée de manière interactive sur le lien suivant :

<https://loupv.github.io/ArticulationsWebGLPlayer/>

Sélectionner le couple 15 et 16 - 1^{er} rencontre

³⁶ Pour contextualiser à postériori cette performance, les participants P15 et P16 ont respectivement 33 (F) et 25 (H) ans, ils ne se connaissent pas avant, n'ont pas une pratique régulière de la danse et n'avaient pas d'expérience préalable de la VR. Le premier comprend vers le milieu de l'expérience que les autres sphères représentent son partenaire, tandis que le second le comprend tout au début.

P16 a senti une connexion assez facile et naturelle (notée 5/6), au contraire de P15 (notée 1/6)

Ils se sont sentis tous les deux animés par la projection de la perception de l'autre, à la question « *Mes mouvements étaient motivés par ce que je pensais que l'autre personne percevait* », ils répondent respectivement 5/6 et 4/6

Ils ont tous les deux eu la sensation que l'autre avait apprécié, à la question « *Mon partenaire n'a pas apprécié l'expérience* » ils répondent 1/6 et 0/6

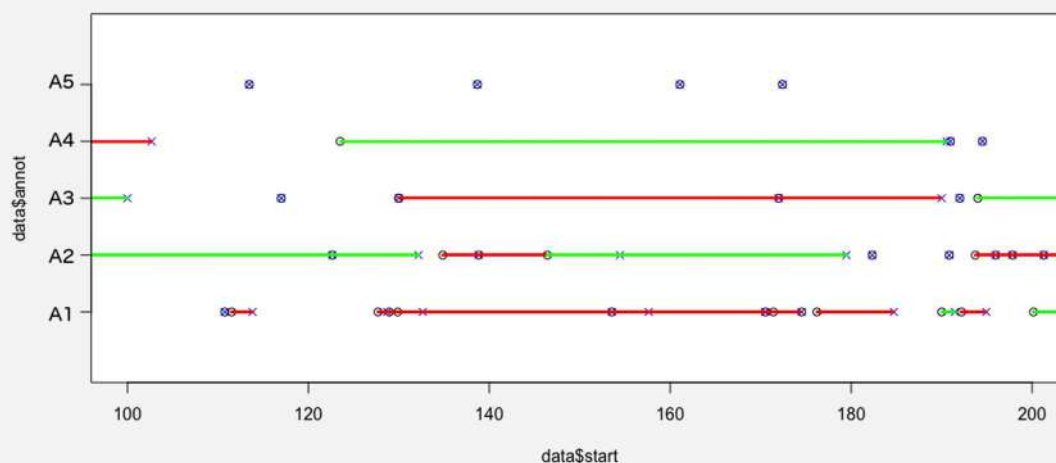


Fig. 81 • Comparaison des différents styles d'annotation sur une période donnée
Chaque annotateur est ici désigné par un identifiant allant de A1 à A5

- Durant la première minute de la performance, trois annotateurs identifient un signe clair de poursuite, où le participant P15 marche à la suite de son partenaire :

A3	interval	11	72	p15 suit p16, au même rythme.
A4	interval	24.632	42.231	ils se suivent
A2	interval	32.864	16.215	p15 suit p16

- Sur un espace temporel allant de la seconde 68 à 85, A2 A3 et A5 identifient chacun un moment où le participant P15 cherche l'interaction d'une manière appuyée.

A2	interval	33.832	79.296	p15 essaie d'engager l'interaction avec p16
A3	event	68	68	p15 provoque
A5	event	72.214	72.214	p16 explore tandis que p15 cherche l'interaction et s'impose
A3	event	85	85	p15 provoque

(Nous voyons que ces deux événements sont situés dans une zone temporelle relativement floue, traduisant la difficulté avec laquelle un tel moment marquant peut être précisément situé.)

- Entre les limites temporelles des secondes 246 et 356, trois annotateurs remarquent une reproduction manifeste des gestes entre l'un et l'autre. Certains isolent cet événement en un seul bloc temporel, d'autres le divisent en plusieurs instants clés.
On y parle d'imitation, d'invitation ou de question / réponse.

A4	event	255.512	255.512	imitation
A5	event	259.129	259.129	ils s'imitent
A1	interval	254.127	261.044	invitation
A4	event	246.944	246.944	question
A4	event	251.33	251.33	Response

- Entre les secondes 324 et 371, une transition entre deux phases distinctes de l'interaction est communément identifiée, et décrite par chacun à l'aide de métaphores et styles personnels.

La particularité de cette transition est qu'elle voit changer à la fois les dynamiques gestuelles et le rapport qu'entretiennent les participants ensemble.

A1 décrit un passage allant de dansant, à boxant, puis à tapant au sol :

A1	interval	324.144	357.011	dance
A1	interval	357.011	361.828	boxe
A1	interval	361.828	380.943	les pas sont lourds

A2 identifie une attente mutuelle se prolongeant dans un rapport rappelant la tauromachie, dérivant finalement en un combat de boxe.

A2	event	350.761	350.761	attente réciproque
A2	interval	351.26	371.576	p16 fait le taureau, p15 le matador
A2	interval	357.177	366.727	combat de boxe initié par p16

A3 est plus précis et distingue davantage d'étapes, les premières reconnaissant le caractère miroir des mouvements des participants, puis s'enchaînent plusieurs ruptures, l'un passant à travers l'autre, puis quelques mouvements vifs rappelant des coups sont échangés. La métaphore de la boxe est à nouveau employée.

A3	event	334	334	p15 marche vers p16 qui est en miroir, ça lui pose un problème pour continuer à faire le miroir
A3	event	337	337	p16 marche à travers p15 et ne se retourne pas
A3	event	340	340	presque des mouvements de tango (miroir?)
A3	event	355	355	p15 casse le tango et marche à travers p16
A3	event	357	357	p16 envoie des coups à la tête de p15 (punch)
A3	interval	359	364	p15 se comporte comme un boxeur et vise sa tête - les deux combattent lentement
A3	interval	364	371	p15 marche à travers p16 et vice-versa

A4 identifie ce changement de style dans la relation à travers un seul moment clé.

A4	interval	263.494	356.41	jeu d'imitation
A4	event	358.528	358.528	le rythme se casse break / les coups sont plus rapides

A5 propose finalement d'autres termes pour qualifier le rapport relationnel.

A5	event	356.46	356.46	p16 s'intéresse maintenant beaucoup à p15
A5	event	364.11	364.11	p16 tape p15
A5	event	375.743	375.743	p15 montre des signes de domination

Bien que cette annotation conjointe n'ait été réalisée que sur une seule performance, rendant la quantité d'éléments comparatifs assez pauvre, nous pouvons quand même statuer sur la diversité des vocabulaires employés. Les tons propres à chaque annotateur traduisent un besoin de recourir à un imaginaire personnel pour caractériser la relation sociale. Ceux-ci peignent des images finalement assez proches, particulièrement lorsque l'interaction y est expressive (phénomènes d'imitation, d'engagement, ou utilisation par exemple d'une métaphore commune de la boxe). Il apparaît néanmoins complexe de décrire avec certitude

ce qui s'y joue réellement, d'autant plus en sachant que les participants eux-mêmes nous ont exprimé avoir vécu parfois des expériences contradictoires (voir partie 2-3).

Au-delà de solliciter l'imaginaire, certains qualificatifs plus absolus sont également utilisés. Adressant les liens du geste par rapport au temps et à l'espace, ceux-ci apparaissent finalement comme les plus objectifs pour nous renseigner sur l'action en cours (en étudiant par exemple les tendances à occuper l'espace, les quantités de mouvement déployées, ou l'expressivité...).

Enfin, quelques caractères propres à l'esthétique et la créativité du mouvement semblent collectivement appréciés par les différents annotateurs.

Plutôt que de tenter de comprendre ce qui se joue d'un point de vue psychologique ou sémantique, il apparaît plus pertinent de se doter ici d'outils de qualification de la gestuelle, pouvant faire le lien entre sensibilité et propriétés dynamiques ou géométriques.

Poursuivant cette approche, consistant à identifier les variants mesurables au sein des données de mouvement pouvant par la suite servir de base à nos adaptations numériques, je vais à présent invoquer quelques lectures de référence qui permettront d'esquisser les prochaines étapes de ce travail.

3.3 • Des métriques gestuelles adaptées à notre contexte

3.3.1 • L'analyse du mouvement de Laban (LMA) - Une qualification plus objective du geste

Au centre des nombreuses approches traitant de l'analyse et de la compréhension intrinsèque du geste, les travaux de Rudolf Laban apparaissent comme une référence majeure (1971). Le chorégraphe, danseur et théoricien hongrois a en effet développé un système de description des mouvements du corps qui a depuis été enrichie de nombreux apports venant de la psychologie, de la kinésiologie et de l'anatomie. L'analyse de mouvements de Laban (ou LMA) est aujourd'hui employée dans de nombreux domaines de recherche, en informatique et en sciences cognitives, mais aussi en pédagogie, en thérapie, et en sport de haut niveau. Pensé originellement pour la notation de la danse, la LMA dote les analystes du mouvement humain d'un langage universel, où les gestes sont décrits à partir de leurs caractères expressifs et d'un certain nombre de propriétés ayant trait à leur rapport au temps, à l'espace et à la force déployée.

Laban décrit ainsi un mouvement à travers quatre catégories principales : l'espace, la forme, le corps, l'effort.

- L'espace - décrit le rapport entre le mouvement et l'espace environnant. Il peut se référer au lieu, à la direction et au chemin du mouvement. On utilise pour cela le concept de kinésphère reliant le mouvement à tout le corps qui le performe.
- La Forme - analyse la manière dont le corps change de forme au cours du mouvement, c'est un critère qui voit le corps comme un tout qui se développe, se contracte et s'ouvre au sein de son espace.
- Le Corps - associe le geste aux différentes caractéristiques structurelles, physiques, et relationnelles des parties du corps qui le composent.

• L'Effort - décrit l'intention et les qualités dynamiques perçues du mouvement. La notion d'effort est intrinsèquement liée aux changements d'humeurs et d'émotions, Laban la représente sur quatre axes qui sont tous liés les uns aux autres (Fig. 82).

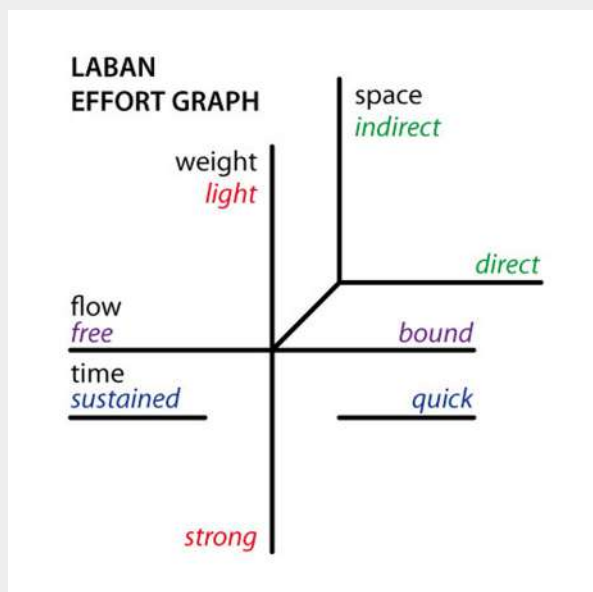


Fig. 82 • Les différents axes de la notion d'effort de Laban

L'Effort se subdivise alors en :

- L'Espace : qui mesure l'aspect *direct* ou *indirect* du mouvement.
- Le Poids : qui qualifie le rapport à la gravité du mouvement, on peut le qualifier de *léger* ou de *lourd*.
- Le Temps : où n'est pas qualifiée ici la durée du mouvement mais son rapport direct au temps. On peut le décrire comme *soudain* ou *soutenu*.
- Le Flow : qui évalue la continuité du mouvement, qui peut être *contraint* ou *libre*.

Les qualités de geste révèlent ainsi une information objective, non soumise à l'interprétation de l'analyste mais portant pour autant en elle un certain nombre de critères émotionnels et esthétiques.

Cette approche se révèle particulièrement intéressante pour notre problématique car nous trouvons là un langage intermédiaire, permettant de traduire nos propres ressentis en des métriques intelligibles pour le sens commun, et à fortiori pour la machine.

Nous orientons ainsi la suite de notre étude sur cette idée d'association entre LMA et reconnaissance émotionnelle, prenant pour cela en référence les travaux d'Andreas Aristidou et de ses collègues (Aristidou et al. 2015 ; Senecal et al. 2016).

3.3.2 • Reconnaissance émotionnelle et LMA

Les travaux menés par Andreas Aristidou et ses collègues proposent différentes approches pour permettre d'associer automatiquement les émotions et le mouvement d'une personne (Aristidou et al. 2015 ; Senecal et al. 2016). Ils parviennent à des résultats significatifs grâce à une méthode inspirée de l'analyse des qualités de geste et par l'usage d'algorithmes d'apprentissage automatisé, différenciant selon les types de problèmes qu'ils affrontent.

Leurs différents travaux suivent une démarche similaire consistant dans un premier temps à traduire les données de mouvement et les émotions qui y sont associées en données quantitatives, étapes réalisées en amont des phases d'entraînement.

La première de ces phases consiste en la traduction des émotions en données bi-dimensionnelles, les auteurs utilisent pour cela le modèle de l'affect de Russell (1980), qui classe les différentes émotions humaines sur deux axes distincts (Fig. 83). Les deux valeurs sont évaluées entre -1 et 1 et correspondent d'une part à l'intensité de l'affect et d'autre part à sa positivité (à quel point celui-ci est vécu comme plaisant).

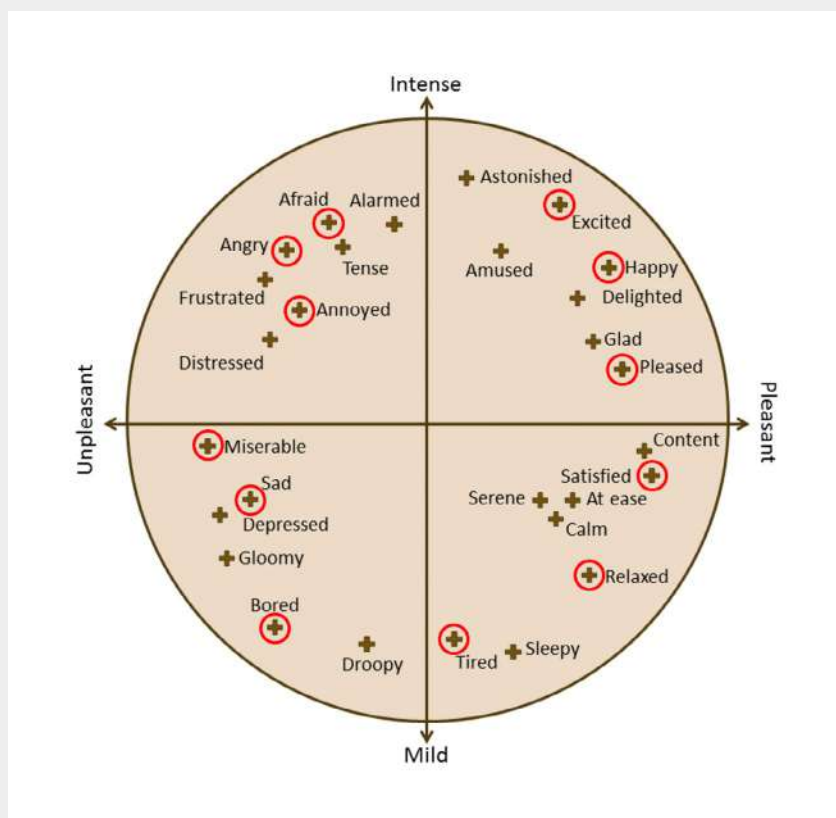


Fig. 83 • Le modèle de l'affect de Russell (seuls les affects cerclés de rouge sont abordés dans Aristidou et al. (2015))

Un affect comme la peur pourra être par exemple qualifié d'intense et de non-plaisant, au contraire d'un sentiment de relaxation, qui n'est pas considéré comme intense mais qui se place dans la moitié positif du modèle.

La seconde phase consiste à recueillir un nombre suffisant de performances correspondant à ces différents affects. Les auteurs demandent ainsi à des danseurs ou des acteurs de jouer face à une caméra la série d'émotions qu'ils veulent parvenir à reconnaître. Les informations de mouvements mesurées sont les positions et orientations de la tête, des épaules, des mains, des hanches, des pieds et du bassin (Fig. 84).

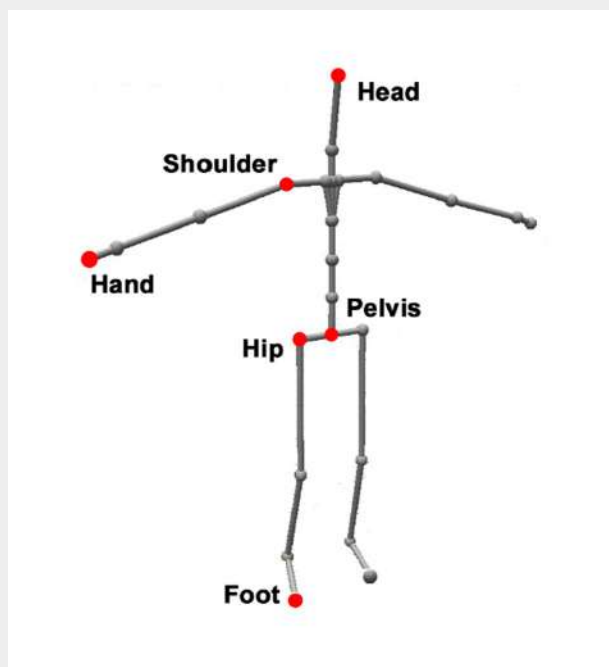


Fig. 84 · Représentation du squelette articulé utilisé pour calculer les descripteurs de geste

Ces séquences sont ensuite annotées des deux valeurs émotionnelles correspondantes, puis les données de mouvement sont converties en un ensemble d'informations plus haut-niveau. C'est ici que les auteurs s'inspirent des notions développées par Rudolf Laban : en convertissant les séquences de positions et d'orientations des acteurs en un certain nombre de descripteurs, ils donnent aux données un caractère plus explicite, plus à même de faire apparaître des corrélations entre le mouvement et les émotions.

Aristidou et al. listent ainsi 86 paramètres (repris également par Senecal et al.), repartis entre les 4 catégories citées précédemment : le corps (*body*), l'effort (*effort*), la forme (*shape*), et l'espace (*space*).

Chacun des descripteurs peut être décliné en un ensemble de valeurs maximales, minimales, moyennes, et d'écart-types, isolés sur une portion de temps donnée. Parmi eux on peut trouver des informations telles que la distance des mains à la tête, le volume occupé par

les différents points du corps, ou la distance parcourue. Nous reviendrons en détail sur ces descripteurs dans la partie 3-4, où nous essaierons de les adapter à notre problématique.

Le travail d'apprentissage automatisé consiste ensuite à entraîner un algorithme d'apprentissage automatisé à reconnaître les deux valeurs de l'affect de Russell, à partir d'une séquence de descripteurs donnée. Selon les travaux, les auteurs utiliseront pour cela des algorithmes de *Random Forests*, de *Support Vector Machines*, ou des réseaux neuronaux.

Les résultats qu'ils obtiennent sont mesurés lors des phases de tests, où ils confrontent les algorithmes entraînés à de nouvelles données de mouvement, et en évaluent les capacités à reconnaître correctement les émotions qui y sont performées.

Dans Aristidou et al. (2015), les auteurs parviennent par exemple à obtenir 91.75 % de précision grâce à leurs différents modèles et une stratégie *One-versus-Rest*, tandis que Senecal et al. (2016) démontrent la possibilité d'en étendre le principe à un flux de mouvement continu qui voit enchaîner une diversité d'émotions successives.

Ces résultats nous encouragent donc à adapter leurs méthodes à notre propre cas, au prix néanmoins de quelques adaptations nécessaires sur lesquelles nous allons revenir dans la section suivante.

3.3.3 • Identifier le caractère intrinsèque de nos données de mouvement

Les résultats probants obtenus par les auteurs cités invitent à nous inspirer de leur approche pour notre propre problématique, néanmoins nous devons évidemment adapter leur protocole à la réalité de notre propre contexte expérimental.

La base du travail que j'envisage diffère en effet de celle des précédents auteurs sur plusieurs points.

- Premièrement, la forme de nos données est différente. Nous n'avons accès qu'aux positions et orientations de trois points du corps, celles des mains et de la tête, tandis que les auteurs en utilisaient six. Nous avons en revanche accès à d'autres informations propres à la nature relationnelle de l'expérience *Articulations*. Les deux danseurs peuvent être analysés l'un par rapport à l'autre à travers des informations qui n'étaient pas présentes dans les études citées, et que nous avons commencé à aborder lors des exercices de visionnage.

Nous devons donc sélectionner une liste de descripteurs de geste propre à notre contexte expérimental, et éventuellement rajouter ceux qui nous paraissent adéquats.

- Deuxièmement, la nature même de nos données diffère également. Celles constituant les jeux d'apprentissage des auteurs ont été récoltées dans un contexte contrôlé, spécialement calibré à cette fin. Basées sur des performances d'acteurs, elles ont pu être enregistrées et triées directement pour leurs finalités d'apprentissage. Les acteurs eux-mêmes avaient pour tâche de jouer ces différentes émotions, laissant supposer une certaine exagération et distance par rapport aux types de mouvements pouvant être réellement performés de manière naturelle.

Dans notre cas, les données sur lesquelles on peut baser l'analyse ne sont pas celles d'acteurs mais d'utilisateurs improvisant sur la base de leurs propres intuitions. Elles n'ont pas été récoltées spécifiquement pour l'entraînement d'algorithmes et il n'est pas possible d'y attribuer avec certitude l'expression d'émotions comme dans les études citées précédemment.

Il ne me paraît d'ailleurs pas intéressant à titre personnel de cibler les mêmes émotions que celles retenues par les auteurs, les participants d'Articulations ne nous ont en effet pas fait part d'une telle diversité d'émotions vécues.

Ces deux points nécessitent donc de spécifier à la fois les métriques du mouvement dont on souhaite automatiser la reconnaissance, et d'identifier les types de descripteurs qui seront les plus à même de nous permettre d'y arriver.

3.3.4 • Un besoin de métriques personnelles pour qualifier le mouvement

Dans la section 3-2, nous avons pu voir que le mouvement minimaliste contient en lui une information hautement évocatrice. Tant les participants que les annotateurs ont pu reconnaître un certain nombre d'indices forts au sein des performances, ce, malgré l'absence visuelle d'un corps humain.

J'ai fait part à titre personnel de moments particuliers où les individualités s'effacent au profit d'un mouvement uni, harmonieux. D'autres commentaires relevés traitent de sentiments similaires, parlant par exemple de l'aspect dansant d'un geste, ou de l'impression de cohésion qui se dégage du mouvement relationnel.

Ces qualificatifs semblent appartenir à un registre sémantique commun, et peuvent de fait fournir un socle intéressant pour le développement de langages numériques adaptatifs basés sur le mouvement³⁷.

Particulièrement dans une expérience comme Articulations, où l'improvisation gestuelle est vue comme moteur central, un mouvement expressif et une cohésion relationnelle sont généralement synonymes d'expérience positivement vécue, où la rencontre entre les participants a effectivement eu lieu.

Il me semble donc pertinent en tant que designer d'expérience d'étudier en quoi ces signaux, visiblement décelables à l'œil nu, pourraient devenir des données proprement quantifiables par la machine et servir à l'altération de ses comportements adaptatifs.

Intégrer des mesures de l'expressivité gestuelle et la cohésion relationnelle m'impose d'une part de comprendre comment rendre cette évaluation personnelle intelligible pour un système numérique, et d'autre part comment amener ce dernier à en opérer lui-même la mesure, permettant *in fine* d'y réagir de manière autonome lors de futures performances.

L'intérêt d'une telle démarche me semble double :

- D'une part, elle me permet de considérer pleinement la richesse du mouvement au regard du présent contexte: en en reconnaissant ses qualités expressives et abstraites, sans chercher à en déconstruire (et de surcroît à en appauvrir) le sens.
- D'autre part, elle ajoute une dimension performative à mon rôle de designer d'expérience. En plus d'œuvrer à la conception de ces environnements virtuels interactifs, elle me laisse envisager la possibilité d'intégrer sous une forme programmatique ma propre subjectivité, afin que de multiples fluctuations et réactions multisensorielles puissent y être associées sur l'expérience finale.

³⁷ À la différence de certaines des interprétations explicites et métaphoriques qui ont pu être formulées plus tôt et qui sont le fruit d'imaginaires individuels

Ainsi me semble-t-il, ce travail laisse entrevoir la possibilité de concevoir des designs interactifs pouvant réagir à des contextes expérientiels uniques et des caractères gestuels originaux. L'idée passionnante de donner aux dimensions sensibles et impulsives des utilisateurs une part centrale s'affirme alors pleinement.

Je fais donc le choix de focaliser la suite du travail sur cette reconnaissance de l'expressivité individuelle et du degré d'unité perceptible au sein du mouvement relationnel, deux informations qui semblent effectivement appréciables au sein des données d'Articulations. Ces qualificatifs du geste étant nécessairement subjectifs, je ferai par la suite le choix d'adapter mon positionnement en fonction. Mon intuition et mon jugement seront les principaux critères d'appréciation du mouvement et tous les résultats obtenus par la suite en seront donc la conséquence directe. C'est ici un parti que je me résous à prendre, tant pour des raisons pratiques que par le vif intérêt que ce challenge suscite en moi.

L'étape de travail à suivre consistera donc à apprendre à la machine à imiter ma manière d'évaluer le mouvement, et toute adaptation sensible formulée en réponse n'en sera *in fine* que plus pertinente vis-à-vis de mon propre positionnement de designer.

3.4 • Préparer nos jeux de données pour l'apprentissage

3.4.1 • Trois hypothèses de travail pour un apprentissage automatisé

Fidèles à la trame de notre méthode d'idéation, nous avons pu dans une première phase identifier des variants pertinents pour la définition d'une grammaire adaptative propre à la nature même de nos données. La seconde cherchera à présent à transformer ces variants en données intelligibles pour notre système, et tenter ensuite d'en appliquer l'usage à des expériences en temps réel.

Pour approcher progressivement le but envisagé, je prends ici la décision de poursuivre trois hypothèses au cours des prochaines sections :

(Hypothèse 1) - Il est possible pour un algorithme d'imiter ma manière d'évaluer l'expressivité d'une performance individuelle. L'expressivité sera ici une mesure subjective et dépendante de ma propre appréciation d'une séquence de mouvements. Cette hypothèse cherche à évaluer la capacité d'un algorithme d'apprentissage à s'adapter à une mesure basée sur le ressenti instantané.

(Hypothèse 2) - Il est possible pour un algorithme de différencier un vrai fichier d'entraînement d'un faux.

Cette hypothèse cherche à démontrer qu'une information présente dans le geste relationnel permet de différencier une vraie rencontre d'un fichier composé de deux performances individuelles indépendantes et collées l'une à l'autre.

(Hypothèse 3) - De la même manière qu'il est possible de différencier un vrai fichier d'un faux, il est possible de noter de manière subjective le niveau de cohésion entre les participants et d'amener un modèle algorithmique à imiter cette mesure. Cette hypothèse viserait à doter un système adaptatif de la capacité à donner une note esthétique à la performance relationnelle.

Ces trois hypothèses jouent donc à la fois sur une appréciation individuelle et collective du mouvement. Mon travail consistera donc à reproduire les deux actions de préparation des données, proposée dans les études de l'équipe d'Andreas Aristidou. Je ferai dans un premier temps une annotation des données de performances à l'aide de mes propres métriques, puis dans un second temps je travaillerai à la conversion des données de mouvement en un ensemble de descripteurs de geste adaptés à ce contexte de travail particulier.

3.4.2 • Stratégie de travail pour chaque hypothèse considérée

Détaillons davantage ici ces trois problèmes :

(Problème 1) - Le premier considère le mouvement d'un participant unique, et cherche à en mesurer l'expressivité. Cette idée étant subjective, je fais le choix comme nous l'avons vu d'annoter les données selon ma propre appréciation. Ce choix peut être à la fois bénéfique pour la qualité de l'apprentissage (plusieurs personnes peuvent avoir des appréciations différentes de l'expressivité auquel cas mélanger leurs notes bruyerait alors les fichiers d'entraînements), comme néfaste (moins de « vérité » dans les notes, et plus de dommages impliqués par les éventuelles erreurs de notation). Techniquement je noterai donc l'expressivité entre 0 et 1, 0 équivalant d'une expressivité nulle, et 1 d'une expressivité très importante. C'est donc un problème dit de régression.

(Problème 2) - Le second est une sorte d'étape intermédiaire au problème 3, et tente de déconstruire la problématique de l'évaluation du mouvement relationnel à travers un exercice de classification. Le but est ici d'entraîner la machine à différencier un vrai fichier d'entraînement d'un faux, en lui donnant des échantillons de mouvement relationnel originaux ou bien créés pour l'occasion. Cet exercice vise à faire ressortir les descripteurs les plus à même d'apprécier correctement un mouvement relationnel, et à collecter quelques intuitions pouvant être réutilisées lors du problème 3.

(Problème 3) - Le troisième cherche à mesurer cette fois la cohésion du mouvement relationnel. Comme pour le problème 1, cette appréciation est personnelle mais se base sur les sentiments que j'ai pu expliciter plus tôt et qui donnent la sensation que de deux individualités il ne reste qu'un mouvement harmonieux. J'essaie ici de qualifier chaque échantillon d'une note de cohésion également comprise entre 0 et 1, où 0 correspond à une absence totale de cohésion, et 1 une harmonie parfaite.

Je détaillerai à présent les différentes étapes qui me permettront de construire trois jeux de données indépendants, chacun dédié à son propre problème. Chaque échantillon d'entraînement y sera constitué d'une séquence de descripteurs de gestes, associée à une classe ou à une valeur flottante.

3.4.3 • Filtrage préalable des données

Afin d'entamer proprement la phase d'annotation, une première étape consiste à filtrer et nettoyer les fichiers de performances actuels.

Dans les trois problèmes mon but est de faciliter le travail d'apprentissage des algorithmes en les alimentant de séquences où les dynamiques gestuelles individuelles et relationnelles sont particulièrement parlantes. Pour cela je dois m'assurer de fournir des jeux de données optimisés, excluant au maximum les séquences pouvant affaiblir l'entraînement.

Cela implique de retirer un certain nombre de séquences parmi lesquelles nous avons :

- Les conditions expérimentales qui ne correspondent pas à nos problèmes. Celles du miroir en l'occurrence présentent des dynamiques de mouvement totalement différentes des autres, les participants y sont généralement côte à côte, face au miroir, et sont alors beaucoup moins expressifs.
- Les débuts de fichiers contiennent par exemple des moments où les participants attendent un signal venant des manipulateurs (on leur demande entre autres de faire un clap de synchronisation avant de lancer l'expérience). Cette étape n'est donc pas représentative de l'expérience interactive.
- La fin des fichiers, où chaque participant se retrouve seul dans l'environnement virtuel et est invité à verbaliser son expérience. Cette phase est enregistrée mais les mouvements n'y sont plus liés à l'autre.
- De nombreuses performances sont également pourvues de petits segments à problèmes : un participant qui perd son casque, une déconnexion de l'un d'entre eux, des ralentissements dus à une surchauffe informatique, etc. Ces moments ne sont pas courants mais nécessitent d'être retirés un à un, afin de ne pas surcharger les données d'entraînements de séquences gestuelles non appropriées.

Pour toutes ces raisons, je décide de développer plusieurs outils de filtrage.

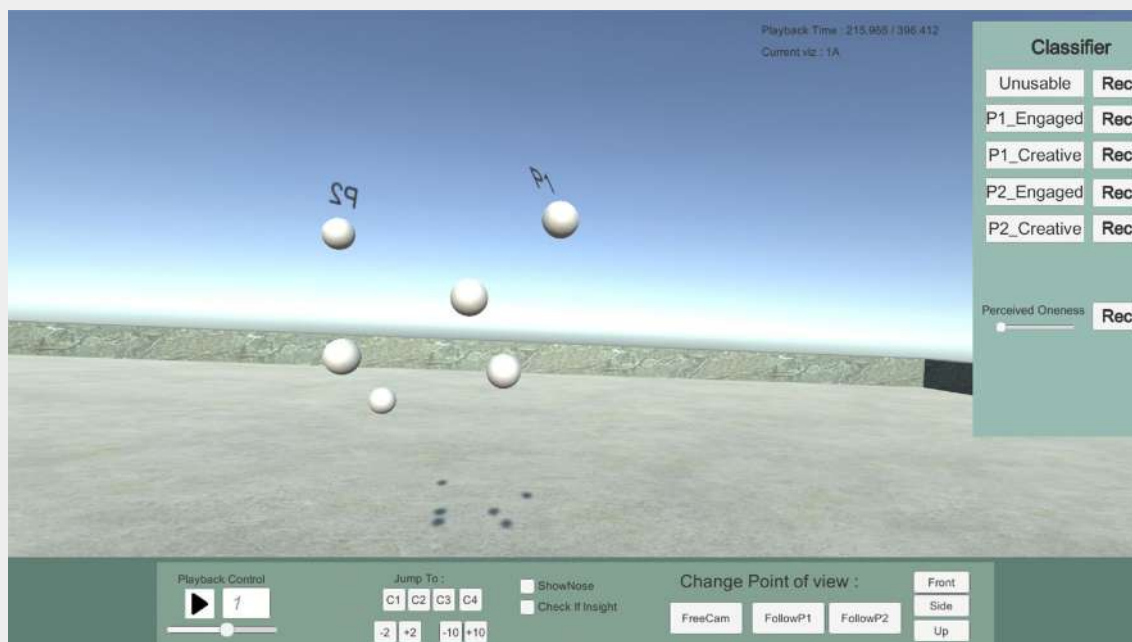


Fig. 85 • Le module Classifier à droite permet d'écrire des informations supplémentaires sur les fichiers de performance

Garder les phases de performance où les participants sont face à face (conditions 1A et 1B) est une étape simple. La condition visuelle en cours est en effet inscrite dans les fichiers

de performances, et un simple script peut retirer automatiquement toutes les lignes ne contenant pas les conditions désirées.

Pour tous les segments problématiques je décide en revanche de développer un système intégré à la visionneuse, me permettant d'annoter les segments à retirer en les regardant directement (Fig. 85).

Un outil de classification est ajouté au programme de visionnage Unity, doté de deux boutons activables et désactivables.

Le premier est appelé *REC* et le second *Unusable*. Lorsque le premier est enclenché, l'action du second bouton est enregistrée. Ce dernier détermine alors la valeur à attribuer au segment en cours de visionnage. Lorsque *REC* est actif, *Unusable* renseigne d'une valeur de 0 ou 1 chaque ligne de la performance visionnée, créant un nouveau fichier qui gardera en mémoire le besoin de retirer ou non la ligne en question des fichiers d'entraînement.

Je réalise donc cette étape sur 23 fichiers de performance, ce qui équivaut à peu près à la moitié du nombre de fichiers recueillis pendant la phase expérimentale du projet *Articulations* au centre Pouchet.

Une fois cet ensemble de performances visionné, un nouveau script s'occupe de retirer l'ensemble des lignes notées comme inutilisables, filtrant ainsi proprement les fichiers d'entraînement.

Lorsqu'un segment se trouve au milieu d'une performance, celle-ci est coupée en deux fichiers distincts, ce, afin de ne pas créer de sautes soudaines du mouvement pouvant compliquer plus tard la phase d'apprentissage.

3.4.4 • Annotation des fichiers d'entraînement

Annotation pour les problèmes de classification

Une fois les fichiers de base nettoyés, j'entame la phase de préparation des différents jeux de fichiers d'entraînement. Je commence par simplicité par le problème 2.

L'approche consiste à créer un ensemble de faux fichiers constitués de données de mouvements provenant de performances différentes. Cette étape est réalisée à l'aide d'un nouveau script qui prend tour à tour deux fichiers de taille similaire, et en crée deux nouveaux où le danseur 1 de la performance 1 est associé au danseur 2 de la performance 2, et où le danseur 2 de la performance 1 est associé au danseur 1 de la performance 2.

Cette approche permet de créer autant de faux que de vrais fichiers, les premiers étant agrémentés d'une colonne étiquetée à 0 (pour faux), et les seconds d'une colonne étiquetée à 1 (pour vrai).

Afin de ne pas fausser le processus d'apprentissage, je prendrai plus loin soin de m'assurer que les fichiers d'entraînement et de test ne partagent pas de données en commun.

Annotation pour les problèmes de régression

Les problèmes 1 et 3 impliquent pour leur part une approche plus engageante, nécessitant de donner aux performances une note traitant de leurs propriétés esthétiques.

Devant réaliser ici ces mesures tout en visionnant les performances, j’use du même principe que celui utilisé pour filtrer les données (voir section 3-4-2). J’entreprends le développement d’une fonctionnalité permettant de renseigner cette fois une valeur entre 0 et 1 à l’aide d’un ensemble de glissières interactives, dotées elles aussi d’un bouton *REC*.

Trois glissières permettent finalement de noter les deux expressivités individuelles des danseurs ainsi que la cohésion générale du mouvement (Fig. 86).



Fig. 86 • Le module de classification et d’annotation des performances

La phase d’annotation se déroule donc en trois temps, deux visionnages centrés successivement sur le premier puis le second danseur, puis un troisième visionnage chargé d’évaluer leur relation.

Pour les deux premières phases, je dote la visionneuse d’un outil permettant de n’afficher que le danseur concerné, afin de ne pas être influencé par l’action de son partenaire. Dans la troisième phase, les deux danseurs redeviennent bien sûr visibles.

En cas d’erreur de notation il est possible de revenir après coup sur une même performance pour revisualiser les notes données. Si le bouton REC n’est pas enclenché, les glissières bougent alors toutes seules, affichant leur valeur de manière synchronisée à la performance en cours.

Une fois l’enregistrement terminé, le programme enregistre un nouveau fichier CSV contenant les trois colonnes de valeurs. Les deux premières contiennent les valeurs subjectives d’expressivités perçues pour l’un et l’autre danseur, et la troisième concerne la sensation de cohésion des deux danseurs entre eux.

Fichiers d'entraînement finaux

À l'issue de cette phase, j'obtiens donc un ensemble de fichiers de données, associant chaque échantillon à une note qui le caractérise.

- Pour le problème 1, j'ai 46 fichiers de travail, correspondant aux 23 performances annotées et aux deux participants faisant partie de chaque performance. Cela représente environ 500 000 échantillons.
- Pour le problème 2, j'ai 45 fichiers de travail, soit 23 qui notent les vraies performances, et 22 qui notent les fausses. Cela représente environ 492 000 échantillons.
- Pour le problème 3, j'ai 23 fichiers de travail contenant la note de cohésion du mouvement relationnel, ressentie lors du visionnage. Cela représente environ 230 000 échantillons.

Tous ces fichiers sont donc remplis de données de mouvement, échantillonnés à 60 images par seconde, auxquels sont associées des colonnes de valeurs prêtes à être appliquées aux prochaines phases d'entraînement.

Nous allons à présent passer à la traduction de ces données de position et d'orientation en descripteurs de gestes.

Note sur le processus d'annotation

Durant cette phase d'annotation des performances j'ai donc abordé l'évaluation seul, d'une manière la plus intuitive et sensible possible.

Les mots « expressivité » et « cohésion » que j'associe à ces deux problèmes sont ceux qui me semblent le plus correspondre aux émotions ressenties durant le déroulement du projet Articulations. Je les emploie par facilité sans chercher à les faire reposer sur des travaux de référence, qui auraient déjà entrepris de les lier à des qualités gestuelles³⁸.

Je ne pourrai pas non plus expliquer avec certitude pourquoi un mouvement fut noté plus expressif qu'un autre. Cette note fut certainement influencée par les performances visionnées précédemment, par mon état de concentration, de fatigue, par une éventuelle musique passant en fond, ainsi que par les milliers d'autres variables imperceptibles auxquelles on pourrait songer. Ce processus, s'il devait être reproduit, ne conduira donc vraisemblablement pas aux mêmes résultats, et toute éventuelle finalité de ce travail sera donc à mettre en perspective de cette phase de travail intime et singulière.

J'estime pour autant que cette particularité n'est pas une tare, mon propos est ici d'amener la machine à apprécier le mouvement d'une manière unique, et non pas de lui faire atteindre une vérité absolue.

Il me semble d'ailleurs d'autant plus intéressant en tant que designer d'expérience de doter la machine de comportements discutables mais francs, plutôt que de réactions modérées cherchant à mettre tout le monde d'accord³⁹.

38 Pelachaud (2005) a par exemple conduit des études autour de la perception de l'expressivité, concluant qu'elle pouvait agir à plusieurs niveaux du geste (une séquence, ou le geste entier) et avoir plusieurs fonctions discursives (persuader, attirer l'attention, témoigner d'un état émotionnel).

39 Une alternative aurait été évidemment de demander à de multiples personnes de noter ces performances avec moi, afin d'accumuler supposément des données robustes et plus objectives. Pour information, un test d'annotation comparée sera réalisé plus tard avec cinq des membres du projet Articulations et semblera contrarier cette hypothèse.

3.5 • Développement des descripteurs du geste

3.5.1 • Inspiration de travaux existants

Pour chacun des fichiers étiquetés, vient maintenant la seconde phase de préparation consistant à transformer les données de position et d'orientation en une série de données plus intelligibles pour les algorithmes d'apprentissage.

Je pars ici avec l'idée d'adapter à nos différents problèmes la liste des 86 descripteurs utilisés dans les études citées plus tôt (Fig. 87).

	Features		Measurements			
	f^i	Description	f_{max}^i	f_{min}^i	f_v^i	f_μ^i
BODY	f^1	Feet-hip distance	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4
	f^2	Hands-shoulder distance	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7	ϕ_8
	f^3	Hands distance	ϕ_9	ϕ_{10}	ϕ_{11}	ϕ_{12}
	f^4	Hands-head distance	ϕ_{13}	ϕ_{14}	ϕ_{15}	ϕ_{16}
	f^5	Hands-hip distance	ϕ_{17}	ϕ_{18}	ϕ_{19}	ϕ_{20}
	f^6	Hip-ground distance	ϕ_{21}	ϕ_{22}	ϕ_{23}	ϕ_{24}
	f^7	Hip-ground minus feet-hip	ϕ_{25}	ϕ_{26}	ϕ_{27}	ϕ_{28}
	f^8	Centroid-ground distance	ϕ_{29}	ϕ_{30}	ϕ_{31}	ϕ_{32}
	f^9	Gait size	ϕ_{33}	ϕ_{34}	ϕ_{35}	ϕ_{36}
EFFORT	f^{10}	Head orientation	ϕ_{37}		ϕ_{38}	ϕ_{39}
	f^{11}	Deceleration peaks				ϕ_{40}
	f^{12}	Pelvis velocity	ϕ_{41}		ϕ_{42}	ϕ_{43}
	f^{13}	Hands velocity	ϕ_{44}		ϕ_{45}	ϕ_{46}
	f^{14}	Feet velocity	ϕ_{47}		ϕ_{48}	ϕ_{49}
	f^{15}	Pelvis acceleration	ϕ_{50}		ϕ_{51}	
	f^{16}	Hands acceleration	ϕ_{52}		ϕ_{53}	
	f^{17}	Feet acceleration	ϕ_{54}		ϕ_{55}	
SHAPE	f^{18}	Jerk	ϕ_{56}		ϕ_{57}	
	f^{19}	Volume (5 joints)	ϕ_{58}	ϕ_{59}	ϕ_{60}	ϕ_{61}
	f^{20}	Volume (upper body)	ϕ_{62}	ϕ_{63}	ϕ_{64}	ϕ_{65}
	f^{21}	Volume (lower body)	ϕ_{66}	ϕ_{67}	ϕ_{68}	ϕ_{69}
	f^{22}	Volume (left side)	ϕ_{70}	ϕ_{71}	ϕ_{72}	ϕ_{73}
	f^{23}	Volume (right side)	ϕ_{74}	ϕ_{75}	ϕ_{76}	ϕ_{77}
	f^{24}	Torso height	ϕ_{78}	ϕ_{79}	ϕ_{80}	ϕ_{81}
f^{25}	Hands level				$\phi_{82} - \phi_{84}$	
SPACE	f^{26}	Total distance				ϕ_{85}
	f^{27}	Total area				ϕ_{86}
	f^{28}	Total volume				ϕ_{87}

Fig. 87 • Les descripteurs de geste utilisés dans Aristidou et al. (2015) et Senecal et al. (2016)

L'exercice proposé sera de noter nos appréciations de la cohésion du mouvement minimaliste sur une même performance, nous permettant d'obtenir deux graphiques comparatifs pouvant être consultés en Annexe IV.

Les différentes valeurs rendues visibles sur ce graphique montrent une appréciation diffuse et des styles d'annotations encore une fois bien différents. Les moments d'accord entre nous y sont par ailleurs peu nombreux. Cela me conforte sur la décision de préférer ma seule annotation à un ensemble d'annotations conjuguées.

Chaque descripteur est ici décliné en différentes valeurs. Les quatre colonnes de droite renseignent si l'information en question est déclinée en valeurs maximales, minimales, moyennes et d'écart-types.

Comme expliqué précédemment, le contexte expérimental des problèmes envisagés dans cette section diffère de celui des auteurs. Les données provenant du projet Articulations n'offrent comme information que les positions et orientations des mains et de la tête. Il m'est donc nécessaire de tester ces différents descripteurs et d'évaluer leur performance sur les processus d'apprentissage.

3.5.2 • Descripteurs individuels de performance

Je constitue la liste des 28 descripteurs suivants.

Corps - 12 descripteurs

- Distance des mains l'une par rapport à l'autre (maximum, minimum, moyenne, écart-type)
- Distance des mains par rapport à la tête (maximum, minimum, moyenne, écart-type)
- Hauteur du centre de gravité

Hauteur au sol du point moyen entre les trois sphères de chaque participant (maximum, minimum, moyenne, écart-type)

Effort - 11 descripteurs

- Déviation de la tête

Angle entre la direction du mouvement et l'orientation de la tête (maximum, moyenne, écart-type). On prend ici comme point de repère la direction du mouvement pour que le descripteur ne soit pas relatif à un axe absolu, la contrepartie est d'obtenir des valeurs bruitées lorsque le danseur ne se déplace pas ou fait des micro-mouvements.

- Pics de décélération :

Nombre de pics repérés dans la courbe de décélération sur la période concernée. On utilise pour cela la méthode *find_peaks* de *scipy.signal*.

- Vitesse des mains :

Dérivée de la position (maximum, moyenne, écart-type)

- Accélération des mains :

Dérivée de la vitesse (maximum, écart-type)

- Secousse / Jerk :

Dérivée de l'accélération (maximum, écart-type)

Forme - 3 descripteurs

- Volume occupé :

Volume du prisme formé par la tête et les mains et leur triangle projeté au sol.

- Niveaux de hauteur des mains droite et gauche :

Cette valeur vaut 1 si la main est à moins de deux tiers de la distance entre le sol et la tête, 2 si elle se trouve à plus de deux tiers et en dessous de la tête, et 3 si la main est au-dessus de la tête.

Espace - 2 descripteurs

- Distance parcourue :

Évaluée à partir de la position de la tête sur le plan horizontal

- Zone parcourue :

Calcule l'aire du polygone parcouru au sol dans les 240 dernières frames. Utilisant pour cela la méthode *ConvexHull* de la bibliothèque *scipy.signal*.

Nous pouvons donc lister l'ensemble des descripteurs suivants associés à des identifiants distincts (Table 13).

Identifiants des descripteurs individuels	Descripteurs
f1_max, f1_std, f1_mean	Déviation de la tête par rapport à la direction du mouvement
f2_max, f2_std, f2_mean	Vélocité moyenne des deux mains
f3_max, f3_std	Accélération moyenne des deux mains
f4_max, f4_std	Secousses (jerk) moyenne des deux mains
f5_max, f5_min, f5_std, f5_mean	Distance entre les deux mains
f6_max, f6_min, f6_std, f6_mean	Distance entre la tête et les mains
f7_max, f7_min, f7_std, f7_mean	Hauteurs du centroïde (barycentre non pondéré des mains et de la tête)
f8	Zone parcourue sur 240 frames (4 secondes)
f9	Volume du prisme occupé par les mains et la tête par rapport au sol
f10	Distance parcourue
f11, f12	Niveaux de la main gauche et de la main droite
f13	Nombre de pics de décélération mesuré dans le mouvement des mains

Table 13 - Descripteurs individuels utilisés pour l'apprentissage

3.5.3 • Descripteurs relationnels de performance

Pour les problèmes 2 et 3, il est nécessaire de faire ressortir le caractère relationnel des performances et de rajouter des données relatives à l'activité des deux danseurs.

Différentes approches ont été prises au cours des phases itératives d'expérimentations, parmi lesquelles trois ensembles de descripteurs sont ressortis.

- Un premier ensemble consiste à travailler sur l'ensemble des descripteurs individuels utilisés dans le problème 1, de les calculer pour les deux danseurs puis d'en garder la différence. On obtient ainsi un ensemble de valeurs représentant l'écart de ces descripteurs individuels entre l'un et l'autre (Table 14).
- Le second ensemble est constitué de certains des descripteurs individuels, calculés sur un danseur « médian ». Ce danseur médian est formé des trois points au milieu des deux têtes et des mains opposées des danseurs (Fig. 88 et Table 15). Comme la plupart des descripteurs ne prennent en compte ni l'orientation ni le sens de déplacement, il me semble intéressant de tester cette approche qui est comme une sorte de matérialisation physique de la rencontre.

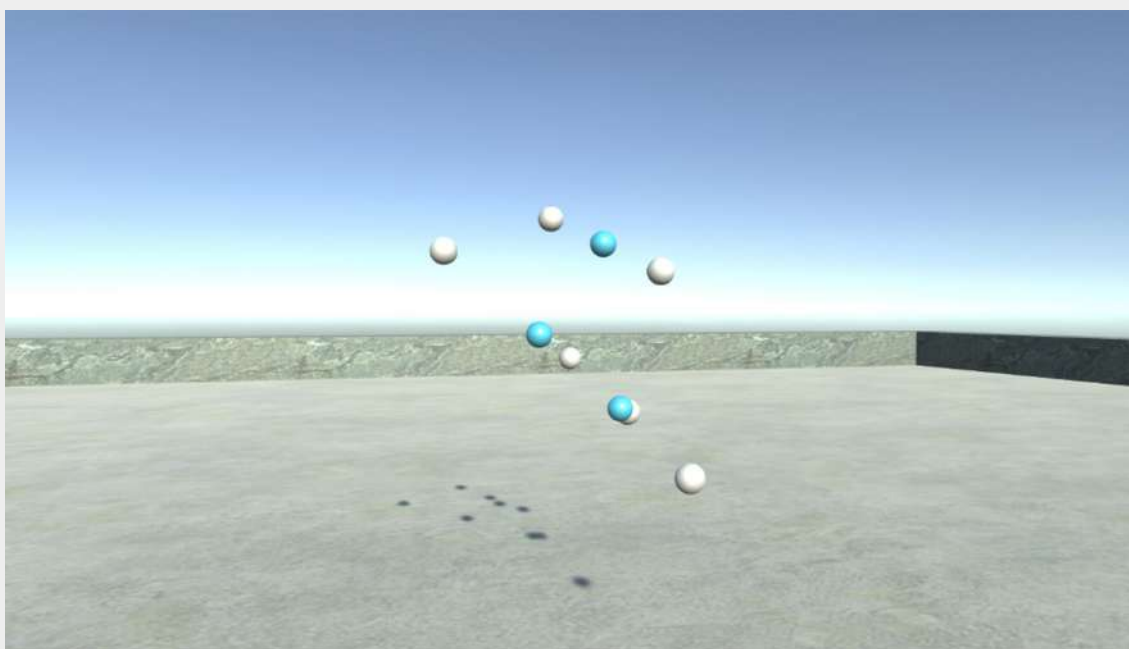


Fig. 88 • Les sphères bleues correspondent au danseur médian

- Le dernier ensemble cherche finalement à faire ressortir des éléments propres à la relation, à l'action de l'un par rapport à l'autre (Table 16). Il est constitué de descripteurs combinant ensemble les positions et orientations des deux danseurs. Parmi ces nouveaux descripteurs, purement relationnels on peut trouver :

- La distance entre les têtes des deux danseurs

- Les distances entre les mains miroirs : Distance entre la main gauche du danseur 1 et main droite du danseur 2, et distance entre la main droite du danseur 1 et main gauche du danseur 2.
- La déviation de la tête par rapport aux points d'intérêt du partenaire : Je calcule ici la valeur minimale entre les trois angles qui séparent le vecteur orientation de la tête du danseur 1 et les trois points du danseur 2. Cette valeur tente d'estimer en quelque sorte si un danseur regarde son partenaire ou non, considérant que l'orientation de la tête n'est pas très éloignée de la direction du regard.
- Une déformation temporelle dynamique entre les niveaux des mains : J'utilise ici un algorithme permettant de mesurer la similarité entre les courbes correspondantes aux niveaux des mains. Les valeurs correspondantes aux niveaux des mains gauche et droite d'un danseur sont additionnées et sont comparées à l'addition de celles du partenaire. La déformation temporelle dynamique (ou *Dynamic Time Warping*) permet de donner une valeur de similarité entre les deux courbes et peut s'avérer une technique intéressante pour déterminer la cohésion de deux personnes en mouvement.

Nous obtenons finalement les listes de descripteurs suivantes.

Descripteurs relationnels	Description
d1_max, d1_std, d1_mean	Différence entre les déviations des têtes par rapport aux directions des participants
d2_max, d2_std, d2_mean	Différence entre les vitesses des mains des participants
d3_max, d3_std	Différence entre les accélérations des mains des participants
d4_max, d4_std	Différence entre les secousses (jerk) des mains des participants
d5_max, d5_min, d5_std, d5_mean	Différence de distance entre les deux mains de chaque participant
d6_max, d6_min, d6_std, d6_mean	Différence de distance entre la tête et les mains de chaque participant
d7_max, d7_min, d7_std, d7_mean	Différence entre les hauteurs des centroïdes des participants
d8	Différence entre les zones parcourues par les participants sur 240 frames (4 secondes)
d9	Différence entre les volumes occupés par les participants
d10	Différence entre les distances parcourues par les participants
d11	Différence de niveau des mains gauches des participants

d12	Différence de niveau des mains droites des participants
d13	Différence entre le nombre de pics de décélération mesurés dans le mouvement des mains des participants

Table 14. Descripteurs relationnels à partir des différences de descripteurs individuels

Descripteurs du danseur médian	Description
m2_max, m2_std, m2_mean	Vélocité des mains du danseur médian
m3_max, m3_std	Accélération des mains du danseur médian
m4_max, m4_std	Secousse (jerk) des mains du danseur médian
m5_max, m5_min, m5_std, m5_mean	Distance entre les deux mains du danseur médian
m6_max, m6_min, m6_std, m6_mean	Distance entre la tête et les mains du danseur médian
m7_max, m7_min, m7_std, m7_mean	Hauteur du centroïde du danseur médian
m8	Zone parcourue par le danseur médian sur 240 frames (4 secondes)
m9	Volume occupé par le danseur médian
m10	Distance parcourue par le danseur médian
m11	Niveau d'une main du danseur médian
m12	Niveau de l'autre main du danseur médian
m13	Nombre de pics de décélération mesurés dans le mouvement des mains du danseur médian

Table 15 - Descripteurs relationnels à partir des différences de descripteurs individuels

Descripteurs relationnels	Description
r1	<i>Dynamic Time Warping</i> entre les sommes des niveaux des mains des participants
r2	Distance entre les têtes des participants
r3, r4	Distances entre les mains opposées des participants (mains gauches vs mains droites opposées)
r5	Différence entre les minimums des trois angles séparant l'orientation de la tête d'un participant par rapport aux trois points du partenaire

Table 16 - Descripteurs purement relationnels

3.5.4 • Les outils de conversion des données de mouvement en descripteurs

Pour réaliser les calculs permettant de transformer les données de position et d'orientation en descripteurs, j'entrepris le développement d'une série de scripts python permettant de traiter l'ensemble des fichiers en une seule exécution.

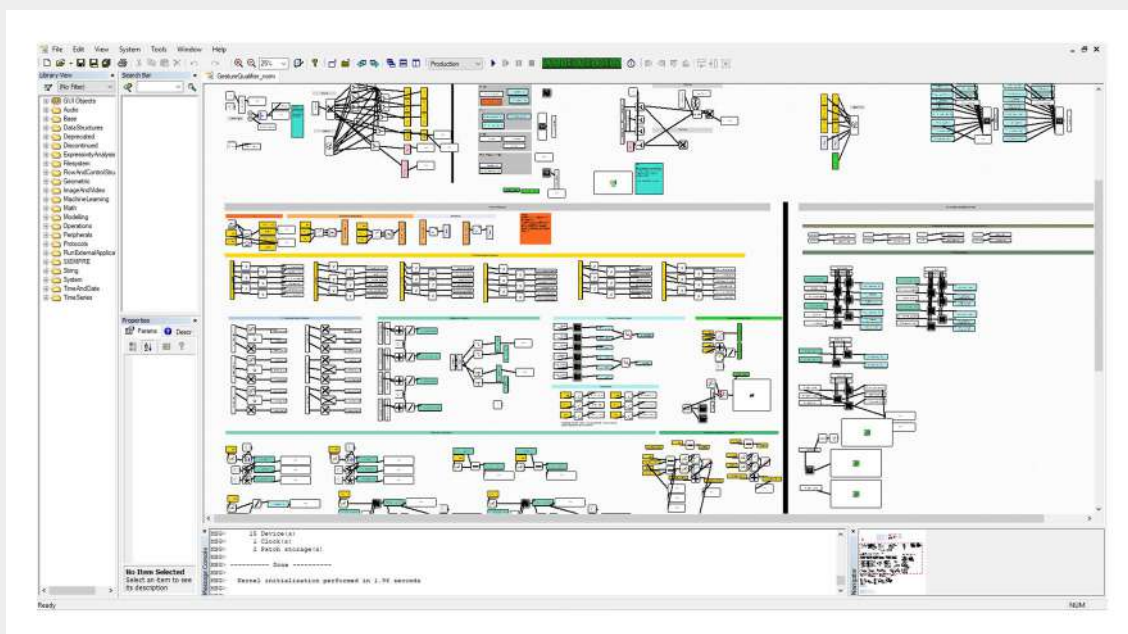


Fig. 89 • L'interface d'Eyesweb, avec un patch réalisé pour normaliser et mesurer les qualités de gestes provenant des fichiers de performance d'Articulations

Un autre travail avait été entrepris plus tôt avec le logiciel Eyesweb, développé par l'équipe de Camurri et al. (2007; 2012). Le logiciel permettant de faire de l'analyse de données via réception de messages OSC ou en chargeant des fichiers CSV, il était possible de le faire travailler de concert avec la plateforme Articulations et tirer profit de la grande quantité d'outils intégrés pour mesurer des qualités de geste (Fig. 89).

Malheureusement l'interface complexe, le manque de contrôlabilité des données et l'abandon du projet par les développeurs originels ne permirent pas de conduire ce travail à un niveau de précision nécessaire pour un traitement en temps réel.

Un second choix fut celui du langage python, lequel semble aujourd'hui justifié par l'innombrable quantité d'exemples et de documentation présente sur internet, ainsi que par l'ensemble des outils et bibliothèques de fonctions pré-développés et gratuits, permettant de parvenir rapidement à des automatisations de calculs complexes.

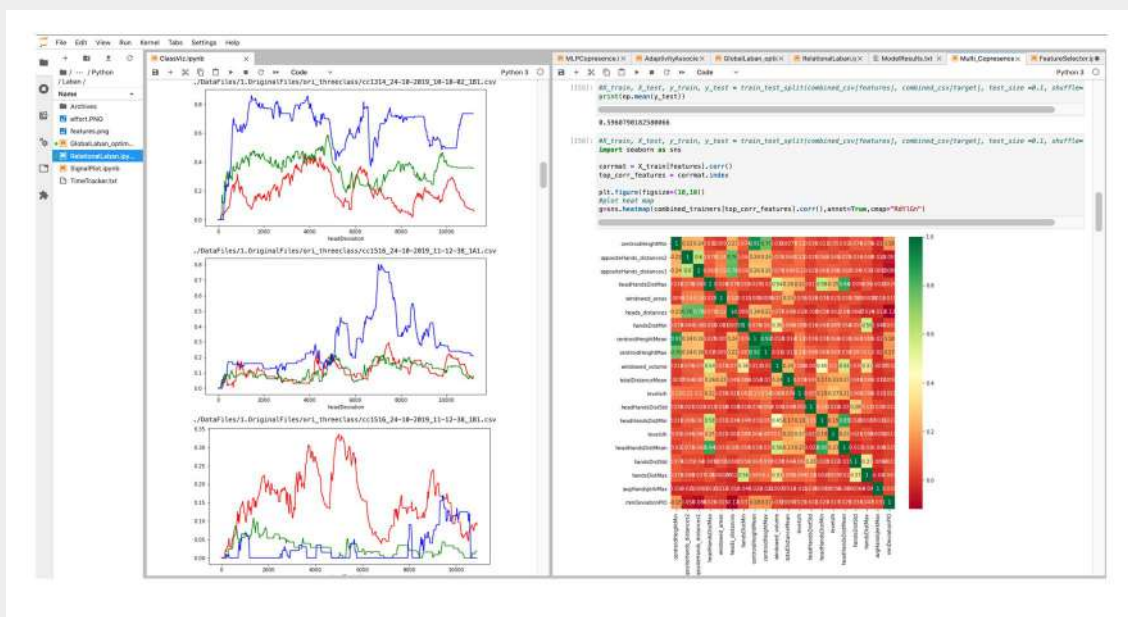


Fig. 90 · L'interface de Jupyter

L'interface de *Jupyter* (Fig. 90) dans l'application *Anaconda* permet de plus d'exécuter les scripts de manière séquentielle et de garder en visuel l'ensemble des informations qui parviennent de la console. Ce système permet donc de visualiser facilement les signaux obtenus et de les mettre en relation aux choix de programmation faits.

La bibliothèque *scikit-learn* offre enfin un certain nombre d'outils permettant de développer des modèles de *machine learning* complexes. Ce choix s'avérera donc encore plus cohérent, lorsque plus tard il me sera nécessaire d'adapter les fonctions développées pour une utilisation dédiée au temps réel (voir partie 3-6).

3.5.5 • Préparation des fichiers pour les prochaines phases d'apprentissage

Pour entreprendre cette phase de transformation des données de mouvement, je m'inspire à nouveau des choix techniques de l'équipe d'Aristidou. Les auteurs prennent comme habitude de prendre une fenêtre temporelle de 1,17 seconde pour calculer leurs descripteurs (ils choisissent des fenêtres de 35 frames pour des données échantillonnées à 30 frames par seconde).

Ce choix de fenêtre temporelle semble avoir été fait de manière empirique, conduisant à des résultats optimaux :

Les résultats empiriques montrent que l'utilisation d'une fenêtre glissante de 45 frames avec un pas de 15 frames (nos données de mouvement sont échantillonnées à 30 images par seconde), peut permettre de faire ressortir efficacement les descripteurs pour la LMA (Aristidou et al., 2015)

Les données d'Articulations étant échantillonnées à 60 frames par seconde, je décide donc de doubler cette fenêtre temporelle et de prendre 70 frames pour faire mes propres moyennes glissantes. Seule la mesure de la zone parcourue se fera sur 240 frames, soit un temps de 4 secondes, estimé plus pertinent ici.

Je développe donc une série de scripts permettant de charger un à un les fichiers de performance filtrés, puis d'opérer ces glissements de 70 frames pour en calculer l'ensemble des descripteurs voulus.

Une première phase s'occupe de calculer les valeurs brutes de ces descripteurs, puis une seconde boucle vient en extraire les valeurs maximales, minimales, moyennes et d'écart-type lorsqu'elles sont nécessaires.

Cette étape est longue mais permet finalement de transformer l'ensemble des fichiers étiquetés en des fichiers prêts pour les phases d'entraînement qui suivent.

J'obtiens au final autant d'échantillons de descripteurs de geste que d'échantillons de données de mouvement. Seules les 70 premières lignes de ces fichiers sont initialisées à 0, afin de laisser le temps à la mémoire tampon (*buffer*) de se remplir. Pour le descripteur calculant la zone parcourue au sol, les 240 premières sont laissées à 0 pour les mêmes raisons. Durant toutes les phases d'apprentissage à suivre, ces lignes d'échantillons seront bien entendu retirées des jeux de données d'entraînement.

Passons maintenant à la phase du travail consistant à entraîner ces algorithmes à imiter ma manière de noter ces échantillons.

3.6 • Apprentissage automatisé

3.6.1 • Développement d'outils pour un entraînement sur-mesure

Les méthodes d'apprentissages restent à choisir dans chacun de nos trois problèmes en fonction de leurs natures singulières. Dans les différentes études citées, les auteurs explorent ainsi des directions différentes.

- Aristidou et al. (2015) testent plusieurs algorithmes de classification afin de prédire les deux classes correspondantes aux différents quarts du cadran de Russell. Ils comparent les

algorithmes de *Random Forests*, d'*Extremely Random Forests*, de *Support Vector Machine*, sur lesquels est appliqué un système de *One-Versus-Rest*, permettant de sélectionner le résultat avec le plus de votes lors de la phase de test.

Ils parviennent à une précision moyenne de 91,75 % sur leur problème.

- Senecal et al. (2016) utilisent un réseau neuronal avec 86 entrées et 2 sorties (les deux coordonnées du modèle de Russell), et doté de 10 couches cachées (*hidden layers*). Ils montrent dans leur étude qu'ils parviennent à classifier majoritairement les émotions dans les bons cadrans du modèle, mais ne donnent pas de résultats de réussite car l'aspect régressif de leur problème ne leur permet que de prédire des valeurs approchées et non exactes.

Pour ma part, je décide de profiter de la diversité des algorithmes disponibles dans la bibliothèque python Scikit-learn et d'en tester une multitude afin d'observer leurs résultats respectifs pour chacun des trois problèmes considérés.

La facilité offerte par la bibliothèque Scikit est qu'elle permet de tester facilement différents algorithmes en ajustant à chaque fois quelques lignes de code. Il est par exemple possible pour un même jeu de données, d'évaluer et de comparer les résultats obtenus pour l'ensemble de ces algorithmes en une seule exécution.

De nombreux paramètres vont néanmoins avoir une influence sur les résultats obtenus lors de l'entraînement, parmi eux on peut lister :

- La répartition entre les données d'entraînement et les données de test.

Ma stratégie consiste à mélanger de manière randomisée les fichiers originaux tout en m'assurant que les valeurs cibles sont correctement distribuées (avoir une répartition équilibrée des résultats à prédire entre les fichiers d'entraînement et de test).

Si les fichiers sélectionnés le sont d'une manière randomisée, les échantillons ne sont pour autant pas dispersés entre les sets de travail. Les données d'entraînement et de test n'ont donc pas pour origine des performances communes.

Les données étaient réparties à 80 à 88 % pour le jeu d'entraînement, quand 12 à 20 % étaient destinées au jeu de test (ce pourcentage pouvant varier en fonction de la sélection randomisée initiale).

- L'expérience vécue par les participants et l'impact sur leurs stratégies de mouvements.

La diversité des expériences vécues a évidemment un impact important sur les qualités de mouvement et donc sur la distribution de nos données. Certains fichiers contiennent par exemple des cas particuliers (un participant est expressif mais n'est pas conscient d'être en coprésence), la présence de ce type de performance dans le jeu d'entraînement influera donc sur les tendances prédictives du modèle.

- La sélection de descripteurs de geste.

S'il est intéressant de s'inspirer de la liste de descripteurs prélevée dans les études précédentes, il est probable que certains d'entre eux ne soient pas utiles pour nos problèmes. Une approche empirique peut nous permettre de déterminer l'influence des différents descripteurs sur la réussite des modèles entraînés, il nous sera donc possible d'en tester différentes combinaisons et de comparer leurs effets sur l'apprentissage.

- La normalisation des données.

La normalisation des données semble avoir des effets positifs ou négatifs selon les types d'algorithmes utilisés. Nous pourrions donc inclure le choix d'opérer ou non cette normalisation comme un paramètre supplémentaire lors de l'entraînement.

- Le type d'algorithme d'apprentissage choisi.

Les problèmes de classification sont abordés successivement avec des algorithmes de gradients stochastiques, de classification naïve Bayésienne, de forêts d'arbres décisionnels (*Random Forests*), d'analyses discriminantes linéaires, ainsi qu'avec des réseaux neuronaux. Les problèmes de régression sont abordés successivement avec des algorithmes de machine à vecteur de support (*LinearSVR*), de fonctions polynomiales, de régression linéaire, d'arbres de décision, ou à nouveau de réseaux neuronaux.

- Les paramètres des algorithmes utilisés

Chaque algorithme présente un ensemble d'hyper-paramètres influant sur l'apprentissage. De multiples variations sont explorées, utilisant pour cela des fonctionnalités de *GridSearch* et permettant de comparer différentes combinaisons de paramètres en une seule exécution.

Cette importante combinaison de paramètres initiaux impose donc de multiplier les essais, et de construire des intuitions en fonction des différents résultats obtenus.

3.6.2 • Mode d'opération

L'exécution segmentée rendue possible par *Jupyter* permet d'aborder ces problèmes d'une manière itérative, il est assez ainsi simple d'appliquer les observations et conclusions d'une séquence à une autre.

Pour les trois problèmes à suivre, je développe une séquence d'instruction qui tour à tour :

- Charge les fichiers d'entraînement et les répartit entre les jeux de travail destinés à l'entraînement et au test.
- Initie une série de paramètres de manière randomisée ou manuelle parmi ceux que je souhaite tester lors de cette étape. Cette série peut concerner les hyper-paramètres des modèles d'entraînement, le nombre de descripteurs devant être sélectionnés, le choix de normaliser ou non les données, les paramètres de monitoring à afficher, etc.
- Filtre les jeux de données en fonction des paramètres sélectionnés précédemment.
- Initie les modèles algorithmiques testés avec les hyper-paramètres sélectionnés précédemment
- Évalue le score obtenu par le modèle sur le jeu de test
- Affiche les résultats, sauvegarde le modèle et ses paramètres si ceux-ci battent les scores de référence (meilleurs résultats obtenus jusqu'ici).
- Itère une nouvelle boucle pour évaluer la pertinence d'une autre série de paramètres.

À chaque série d'entraînement, je compare les résultats et tente d'en identifier des tendances. Certaines séries confirment le bon réglage de certains paramètres tandis que d'autres sont progressivement abandonnés. La stratégie valorise ainsi l'intuition, mêlée à la multiplicité des essais.

Je vais décrire à présent les résultats obtenus pour chaque problème.

3.6.3 • Problème 1 - Mesurer l'expressivité

Le réseau neuronal *MLPerceptron Regressor* est l'algorithme qui fonctionne le mieux dans ce premier problème.

Celui-ci se retrouve le plus performant lorsque les données sont normalisées avec la fonction *StandardScaler*, avec une sélection des 19 meilleurs descripteurs, identifiés par l'algorithme *SelectKBest* et la fonction *f_regression*.

Parmi les hyper-paramètres les plus pertinents on peut retenir une fonction d'activation '*relu*', un paramètre alpha à 0.0001 et un taux d'apprentissage constant (*learning rate*).

Concernant les couches du réseau neuronal, nos meilleurs résultats intègrent deux couches cachées de 15 et 5 neurones, en plus des couches d'entrée et de sortie.

J'obtiens finalement les scores de 0.468 sur le jeu d'entraînement et 0.424 sur le jeu de test. Ces scores correspondent au coefficient de détermination R^2 du modèle.

Afin de mieux rendre compte de l'efficacité du modèle entraîné, on peut voir ci-dessous les données prédites par rapport aux données cibles, correspondantes aux valeurs d'expressivité de notre jeu de test (Fig. 91).

Pour une meilleure lisibilité, la courbe de prédiction a été moyennée sur 250 échantillons.

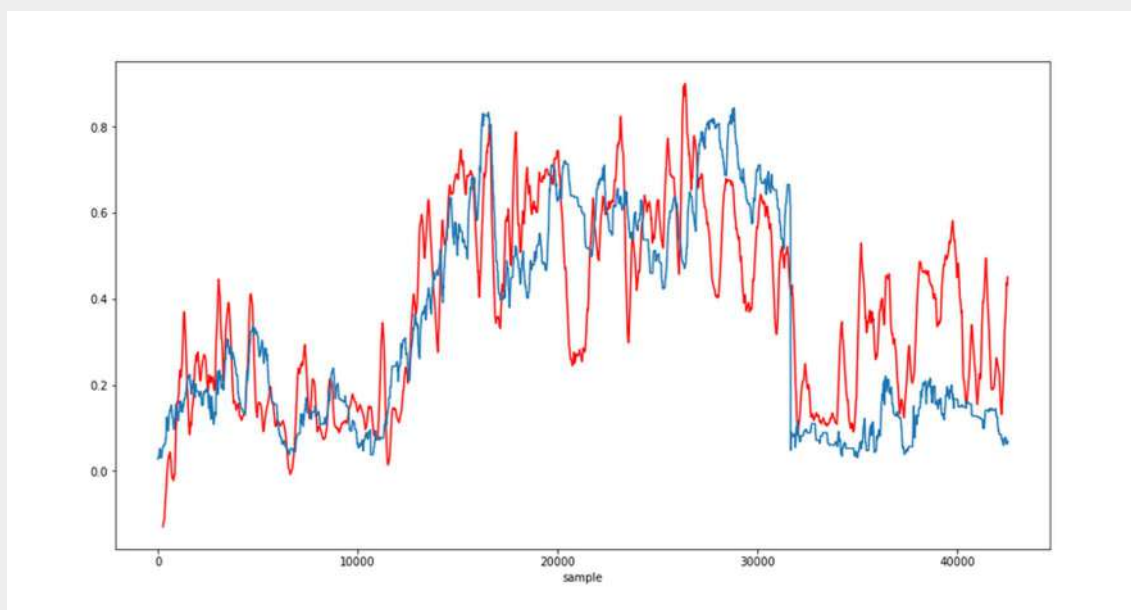


Fig. 91 • Un graphique issu de nos phases de test. y_{test} (courbe bleue) représente les valeurs cibles dans notre jeu de test, et $y_{predict}$ les données prédites par le modèle neuronal (courbe rouge)

Malgré quelques sautes parasites, on peut relever ici une tendance nette du modèle à suivre mes prédictions.

À chaque test réalisé, je prends note de la liste des descripteurs ayant permis de réaliser l'entraînement. Pour le modèle ayant permis l'obtention des résultats précédents, cette liste est composée des 19 descripteurs suivants (Table 17).

ID	Descripteur	Description	Score
1	f7_std	Hauteur centroïde - écart-type	75931.21
2	f5_std	Distance inter-main - écart-type	53571.46
3	f5_max	Distance inter-main - maximum	38283.75
4	f6_min	Distance main à tête - minimum	34865.40
5	f6_std	Distance main à tête - écart-type	30180.75
6	f1_std	Déviation de la tête - écart-type	27356.87
7	f8	Zone parcourue	22583.33
8	f7_min	Hauteur centroïde - minimum	18228.81
9	f6_mean	Distance main à tête - moyenne	16584.41
10	f5_mean	Distance inter-main - moyenne	12535.88
11	f1_max	Déviation de la tête - maximum	12478.11
12	f11	Niveau de hauteur main gauche	7089.38
13	f12	Niveau de hauteur main droite	7037.23
14	f2_std	Vélocité des mains - écart-type	4052.76
15	f7_mean	Hauteur centroïde - moyenne	3954.34
16	f6_max	Distance main à tête - maximum	3584.59
17	f2_max	Vélocité des mains - maximum	2494.01
18	f9	Volume du prisme occupé	2202.17
19	f2_mean	Vélocité des mains - moyenne	1503.96

Table 17 - Liste des descripteurs de geste privilégiée ici par l'algorithme KBest

Il est intéressant de noter que les descripteurs les plus utiles pour comprendre ma notation de l'expressivité concernent ici la variabilité du déplacement vertical des différents points du corps, et la variabilité des distances entre ces différents points. La quantité de déplacement

sur la période concernée, ainsi que la variabilité de l'angle entre l'orientation de la tête et la direction du déplacement obtiennent également des scores importants.

Étonnamment les données propres à la dynamique du mouvement sont très peu utilisées, seule la vélocité des mains est présente dans la liste mais obtient un score faible par rapport aux autres.

Cette liste m'est intéressante à analyser car elle me donne des indices sur ma propre manière de qualifier le mouvement. La hauteur des bras, l'ouverture du corps, et la rotation de la tête par rapport au déplacement semblent être chez moi des critères esthétiques, tandis que la quantité et les dynamiques de mouvement ne semblent finalement pas être si significatives. Au-delà du but recherché, cet exercice m'amène finalement à questionner mon propre regard et ma propre appréciation sensible. Cette observation me sera utile plus tard lors du développement des prototypes artistiques (voir sections 3-7 et 3-8).

Abordons à présent les problématiques relationnelles, sur la base de ce que nous avons pu observer ici.

3.6.4 • Problème 2 - Reconnaître la coprésence

Cette seconde problématique concerne cette fois la reconnaissance de la coprésence parmi les données de mouvement relationnel. Cette question est apparue lors de discussions avec les différents membres de l'équipe Articulations ainsi qu'avec Rémi Ronfard de l'INRIA. Elle intervient ici comme une étape préalable au problème 3 de régression, et tente de réduire la question relationnelle à une approche binaire : un algorithme est-il capable de reconnaître si deux danseurs sont réellement ensemble à partir de leurs simples données de mouvement ?

Le jeu de données est donc cette fois constitué de descripteurs relationnels, issus de la mise en relation des mouvements des deux participants. La différence entre les vrais et faux fichiers est que les deux séquences de mouvement provenaient soit de participants ayant effectivement fait ensemble l'expérience, soit de participants issus de performances différentes.

Le travail consiste donc ici à entraîner nos algorithmes à reconnaître les vrais fichiers des faux, et comme lors du problème 1, à tenter de faire ressortir des observations intéressantes qui pourront être réutilisées plus tard.

Les phases d'entraînements sont à nouveau réalisées de manière itérative au cours desquelles je teste de multiples configurations qui voient se succéder différentes répartitions de fichiers de test et d'entraînement, ainsi que différents types de normalisation et d'hyperparamètres.

Les premiers résultats ne sont pas satisfaisants et je décide d'opérer un filtrage des données afin de ne garder que les échantillons réellement significatifs. Pour cela, je décide de retirer toutes les performances où les participants n'ont compris leur coprésence qu'après l'expérience (demander à un algorithme de repérer la coprésence entre deux personnes ne se sachant pas l'une en face de l'autre apparaît en effet hasardeux).

Je décide de plus de ne me servir que des fichiers où les notes de cohésion sont notées supérieure à 0.3, tirant donc profit en avance de mon travail d'annotation du problème 3.

Tous les fichiers qui ne me procurent pas de sensation de cohésion sont alors jugés non pertinents et retirés des données d'entraînement.

Après ce filtrage, il ne me reste finalement que 6 vrais fichiers, où les participants sont à la fois expressifs et conscients d'être l'un avec l'autre, et 6 fichiers faux. Cela représente au total 150 000 échantillons sur lesquels je relance la phase d'entraînement.

Les résultats s'améliorent alors, trouvant leur meilleur taux de réussite avec l'algorithme de *Gaussian Naive Bayes*, via une normalisation avec la fonction *StandardScaler*, et un nombre de 20 descripteurs sélectionnés par l'algorithme *SelectKBest* et la fonction *chi2*.

J'obtiens alors 69.4 % de réussite sur le jeu de données d'entraînement et 69.1 % sur le jeu de données de test.

Concernant les descripteurs, on retrouve une répartition assez équilibrée parmi les différents ensembles présentés plus tôt. On retrouve en effet à la fois des descripteurs provenant de la différence entre les descripteurs individuels, des descripteurs du danseur médian, et de descripteurs purement relationnels (Table 18).

ID	Descripteur	Description	Score
1	d7_max	Différence entre les hauteurs des centroïdes - maximum	7777.14
2	d7_mean	Différence entre les hauteurs des centroïdes - moyenne	7683.56
3	d7_min	Différence entre les hauteurs des centroïdes - minimum	6704.66
4	r1	Similarité entre les niveaux de mains	4640.31
5	d9	Différence des volumes occupés	2500.90
6	m8	Zone parcourue par le danseur médian	2372.13
7	m5_max	Distance entre les deux mains du danseur médian	2020.17
8	m9	Volume occupé par le danseur médian	1964.17
9	r5	Différence d'orientation de la tête par rapport aux positions du partenaire	1955.49
10	m5_mean	Distance entre les deux mains du danseur médian	1802.77
11	m7_max	Hauteur du centroïde du danseur médian - maximum	1690.70
12	m7_mean	Hauteur du centroïde du danseur médian - moyenne	1508.76

13	d2_mean	Différence entre les vitesses des mains - moyenne	1503.15
14	m12	Niveau de la main droite du danseur médian	1343.37
15	m10	Distance parcourue par le danseur médian - moyenne	1262.17
16	d2_min	Différence entre les vitesses des mains - minimum	1226.72
17	m7_min	Hauteur du centroïde du danseur médian - minimum	1103.35
18	m5_min	Distance entre les deux mains du danseur médian	983.71
19	r4	Distance opposée des mains	865.93
20	m5_std	Distance entre les deux mains du danseur médian	564.88

Table 18 - Liste des meilleurs descripteurs relationnels pour le problème de reconnaissance de la coprésence.

On voit que les centroïdes et les niveaux des mains performent mieux que les autres descripteurs, laissant penser que la perception de la coprésence serait fortement liée à la similarité entre les hauteurs des mains des participants.

Si ces résultats montrent que nos descripteurs peuvent faire ressortir de deux séquences de mouvements des indices permettant de statuer sur la coprésence des participants, ils restent néanmoins moyennement satisfaisants, le modèle se trompant en effet sur 30 % des échantillons qui lui sont proposés.

Pour contextualiser ces résultats une question émerge naturellement : « Un humain pourrait-il atteindre de meilleurs résultats à l'œil nu ? ».

Il est vrai que malgré les différentes phases de filtrage réalisées, le jeu de données est encore constitué de séquences où l'échange reste pauvre et où les participants sont focalisés sur leurs propres mouvements ou sur l'observation du partenaire.

Avec un système de classification, un échantillon « pauvre » est valorisé de la même manière qu'un échantillon « riche », et la relation n'apparaît alors pas directement du mouvement mais davantage de l'historique de l'échange et de ce qu'il est possible d'en contextualiser.

Le choix de travailler sur des échantillons d'une durée d'une seconde n'est par ailleurs peut-être pas optimal et pourrait être reconsidéré.

Plusieurs approches apparaissent donc comme des suites possibles pour améliorer ces résultats :

- La classification pourrait être réalisée sur une séquence de plusieurs échantillons plutôt que sur un seul. Prendre par exemple l'équivalent de dix secondes de performance pour n'en tirer qu'une seule prédiction pourrait peut-être conduire à de meilleurs résultats.

- Une phase d'observation des échantillons pourrait être réalisée par différents annotateurs, afin de statuer sur la possibilité même d'y percevoir cette coprésence, et mettre en perspective la faisabilité de ce travail par une machine. Si les humains se révèlent incapables de parvenir à de bons résultats sur un tel problème, il paraît difficile d'envisager que la machine y performe beaucoup mieux.
- Une troisième classe pourrait être ajoutée pour annoter les échantillons indéterminés. Si certains d'entre eux s'avèrent difficiles à étiqueter, une solution serait de les exclure de l'apprentissage pour se focaliser sur des échantillons plus déterminants.
- Enfin, l'ensemble des descripteurs peut être repensé. Adapter les descripteurs du mouvement individuel en les soustrayant ou en les extrayant du mouvement moyen des deux participants est-il suffisant pour mettre en lumière une information relationnelle ? Les bons résultats obtenus par *Dynamic Time Warping* sur le descripteur $r1$ invitent à réitérer ce type de calcul pour d'autres données, cherchant à mesurer davantage les similitudes plutôt que les simples différences.

Je laisse ici ce problème, mon but initial était de montrer ici l'évidence d'une différence entre les jeux de données originales et recomposées et d'en tirer quelques intuitions. C'est chose faite.

Place à présent au troisième problème, celui tentant de reconnaître cette mesure subjective de cohésion dans le mouvement relationnel.

3.6.5 • Problème 3 - Mesurer la cohésion entre les participants

Nous abordons à présent une problématique typiquement liée au projet *Articulations*. Je me réfère ici aux impressions déjà abordées dans la partie 3-1-2 et qui concernent ces moments précieux où, de deux participants en interaction, je ne vois finalement plus qu'un ensemble harmonieux, où les individualités et leurs influences respectives ne sont plus détachables de la forme composite qui semble prendre vie.

Ces moments rappellent les descriptions des états de Flow de groupe dont je parlais dans les premières phases de ce manuscrit. Les sensations y semblent exacerbées, la créativité paraît décuplée et le résultat co-produit délivre une richesse à priori inatteignable par les participants individuellement.

Tenter d'approcher une mesure de cet état en analysant le mouvement relationnel apparaît comme un problème passionnant et dans la suite logique des deux problèmes précédents. J'aborde donc encore une fois ce problème de manière itérative, retestant l'ensemble des paramètres abordés précédemment dans leurs diverses configurations.

Les meilleurs résultats apparaissent à nouveau avec l'algorithme du *Multi-layer perceptron*, un réseau neuronal qui, lorsque les données sont normalisées avec la fonction *StandardScaler*, trouve sa meilleure efficacité avec un ensemble de 37 descripteurs. J'obtiens alors un score R^2 de 0.455 pour le jeu de données d'entraînement et 0.433 pour le jeu de données de test.

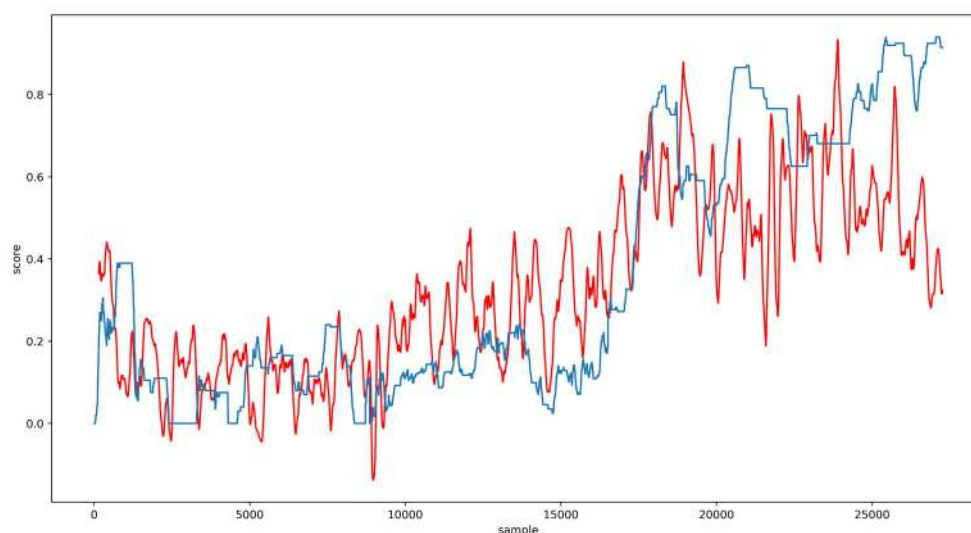


Fig. 92 · Comparaison entre les données cibles (courbe bleue) et les prédictions faites par le modèle neuronal (courbe rouge)

Ici la courbe de prédiction est soumise à un lissage important (Fig. 92), réalisé avec une moyenne flottante de 700 échantillons (soit dix secondes de performance).

Comparant à nouveau les résultats du modèle par rapport aux valeurs cibles des fichiers test, il est possible de reconnaître certaines similitudes entre ma manière de noter la cohésion (courbe bleue) et celle du système cherchant à m'imiter (courbe rouge). Malgré tout le signal est bien plus bruité que dans le problème 1.

Malgré les nombreux tests et itérations effectués, ces résultats ne sont pas aussi satisfaisants qu'espérés. Ils m'invitent là aussi à questionner la pertinence de mes choix de descripteurs, à la lumière de ce que j'ai pu nommer cohésion.

Les descripteurs retenus ici sont les suivants (Table 19).

ID	Descripteur	Description	Score
1	m6_mean	Distance entre la tête et les mains du danseur médian - moyenne	26054.23
2	m6_min	Distance entre la tête et les mains du danseur médian - minimum	24622.83
3	m6_max	Distance entre la tête et les mains du danseur médian - maximum	23508.95
4	m12	Niveau d'une main du danseur médian	8900.14

5	d5_min	Différence de distance entre les deux mains de chaque participant - minimum	6947.69
6	m11	Niveau de l'autre main du danseur médian	4750.53
7	m5_mean	Distance entre les deux mains du danseur médian - moyenne	4341.58
8	m5_max	Distance entre les deux mains du danseur médian - maximum	4168.66
9	d5_mean	Différence de distance entre les deux mains de chaque participant - moyenne	4130.46
10	m9	Volume occupé par le danseur médian	3748.95
11	m5_min	Distance entre les deux mains du danseur médian - minimum	3553.82
12	m2_mean	Vélocité des mains du danseur médian - moyenne	2800.95
13	m7_std	Hauteur du centroïde du danseur médian - écart-type	2548.94
14	d2_mean	Différence entre les vélocités des mains des participants - moyenne	2457.65
15	m2_max	Vélocité des mains du danseur médian - maximum	2335.57
16	d2_max	Différence entre les vélocités des mains des participants - maximum	1974.89
17	d5_max	Différence de distance entre les deux mains de chaque participant - maximum	1875.67
18	d12	Différence de niveau des mains droites des participants	1867.50
19	d7_std	Différence entre les hauteurs des centroïdes des participants - écart-type	1706.15
20	m3_std	Accélération des mains du danseur médian - écart-type	1374.69
21	d8	Différence de zone parcourue par les danseurs	1312.19
22	d11	Différence de niveau des mains gauches des participants	1257.12

23	d3_std	Différence entre les accélérations des mains des participants - écart-type	1249.09
24	m2_std	Vélocité des mains du danseur médian - écart-type	1175.95
25	m6_std	Distance entre la tête et les mains du danseur médian - écart-type	1148.48
26	m3_max	Accélération des mains du danseur médian - maximum	1005.13
27	d2_std	Différence entre les vitesses des mains des participants - écart-type	977.79
28	m4_std	Secousse (jerk) des mains du danseur médian - écart-type	958.92
29	m7_min	Hauteur du centroïde du danseur médian - minimum	946.32
30	d4_std	Différence entre les secousses (jerk) des mains des participants - écart-type	924.63
31	m4_max	Secousse (jerk) des mains du danseur médian - maximum	843.17
32	d4_max	Différence entre les secousses (jerk) des mains des participants - maximum	711.77
33	d7_min	Différence entre les hauteurs des centroïdes des participants - minimum	603.27
34	d3_max	Différence entre les accélérations des mains des participants - maximum	571.49
35	d6_max	Différence de distance entre la tête et les mains de chaque participant - maximum	570.85
36	d5_std	Différence de distance entre les deux mains de chaque participant - écart-type	520.08
37	m8	Zone parcourue par le danseur médian	471.81

Table 19 - Liste des descripteurs de geste privilégiés pour la reconnaissance de la cohésion

On peut déjà voir que les descripteurs du danseur médian performent beaucoup mieux que les descripteurs de différences, obtenant un score cumulé de 120 000 pour le premier groupe contre 30 000 pour le second (Fig. 93). On peut également voir, qu'étrangement, cette liste ne comprend cette fois aucun des descripteurs relationnels.

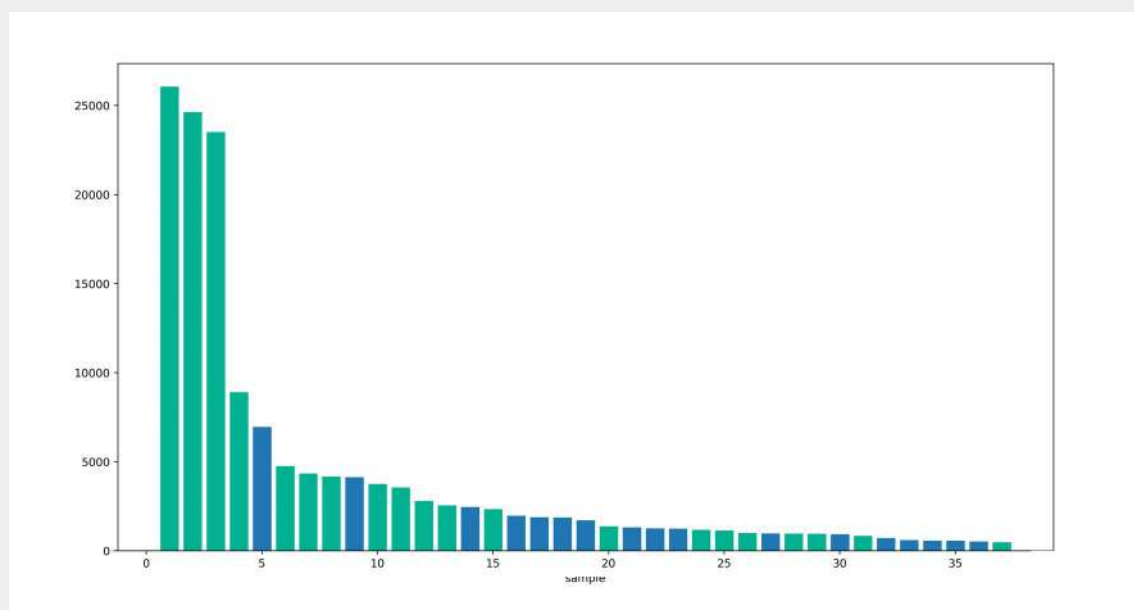


Fig. 93 • Répartition des scores des descripteurs de la Table 19. En vert les descripteurs du danseur médian, en bleu les différences entre descripteurs individuels

Face aux résultats médiocres, je décide de transformer ce problème de régression en un problème de classification, et remplacer la note de cohésion, par des niveaux allant de 1 à 4. Après quelques itérations je parviens péniblement à un taux de réussite de 60.8 % sur le jeu d'entraînement et de 45.7 % sur le jeu de test.

Je ne peux que reconnaître la maigreur de ces résultats, et avouer à ce stade que mon manque d'expertise en réseaux neuronaux ne me laisse envisager de significatives améliorations qu'au prix d'un réel changement de stratégie.

Prenant un peu de recul et regardant de nouveau certaines des performances où la note de cohésion est la plus forte, il m'apparaît que les qualités gestuelles des deux danseurs n'y sont pas nécessairement équilibrées. Certains de ces moments montrent davantage des contrastes forts et des moments de tension apparente, où les danseurs voient évoluer leurs propres comportements et où leurs rôles au sein de la relation se distinguent bel et bien. Si elle semble pertinente au vu des classements des descripteurs, l'étude du danseur médian reste réductrice car elle lisse nécessairement ces dynamiques relationnelles ainsi que les éventuels contrastes qui s'y trouvent.

Le risque est que la méthode empruntée puisse mettre en valeur des qualités de geste miroirs au détriment de réelles inter-adaptations. Enfin, là encore on pourra remettre en question

la possibilité même d'évaluer la qualité de la relation à travers une fenêtre temporelle d'une simple seconde.

Une mesure particulièrement intéressante si elle pouvait être obtenue serait celle de la tendance des danseurs à être *guideurs* ou *suiveurs*. Que ce soit dans la danse improvisée ou dans les phénomènes d'adaptation sociaux, ce concept semble prédominant. Hart et al. (2014) font d'ailleurs un rapprochement entre les moments de *togetherness* et l'absence de *guideurs* et *suiveurs*, mettant en lumière la conscience collective qui prend le pas sur les individualités lors de l'improvisation partagée.

Envisager une suite à ce travail inviterait à se doter d'outils pour garder une trace de l'échange au cours du temps, et faire ressortir cette influence - ou absence d'influence - d'un danseur sur l'autre. Cela conduirait à l'obtention d'une meilleure représentation de la cohésion dans le mouvement partagé.

Je laisserai donc ce problème en l'état, dans l'espoir d'en continuer l'exploration dans un futur proche. Pour l'heure, je vais tenter d'appliquer les capacités prédictives de mes modèles à des expériences temps réel.

3.6.6 • Vers une intégration des modèles à des programmes temps-réel

Maintenant que les modèles algorithmiques sont entraînés et sauvegardés, il peut être entrepris d'en décliner l'usage vers des applications temps réel.

Ce travail peut être accompli en automatisant l'ensemble des étapes présentées dans les sections 3-2 à 3-5, listant ainsi dans l'ordre les besoins suivants :

- Récolter les données de mouvement des deux participants (têtes et mains).
- Transcrire ces données en descripteurs de geste individuels et médians (j'abandonne ici les descripteurs relationnels qui n'ont finalement pas été utilisés lors du problème 3).
- Prédire les expressivités des danseurs présents ainsi que la cohésion de leur mouvement.
- Renvoyer au moteur 3D la liste des descripteurs ainsi que les prédictions réalisées.
- Opérer les adaptations multimodales calibrées en fonction des valeurs et métriques considérées.

Différents programmes et langages ont été utilisés jusqu'ici et continueront à l'être. En l'occurrence, je garderai Unity3D pour la récolte des données de mouvement et l'affichage visuel, et le langage Python pour le calcul des descripteurs et la prédiction par modèles neuronaux.

Une première étape consiste donc à assurer la communication entre les deux programmes. La base du projet Articulations étant déjà pourvue d'une fonctionnalité faisant transiter l'ensemble des positions et orientations des clients sur un réseau local, permettre au programme Python de se connecter à Unity ne nécessite pas un travail important. Les données de mouvement reçues de même que les descripteurs et les prédictions renvoyées passeront donc par un même canal, via le protocole OSC.

L'adaptation du code existant permettant de changer les données de mouvement brutes en descripteurs et prédictions en temps réel n'est là non plus pas très complexe. Les seules différences se retrouvent dans le fait que le temps de calcul est cette fois une contrainte, et

que les données de mouvement ne proviennent plus de fichiers de performances mais d'un flux issu du mouvement direct des utilisateurs.

En ce qui concerne le temps de calcul, je choisis d'alléger l'envoi des données sur le réseau en ajustant la mémoire tampon à 35 frames, pour une lecture des gestes à 30 frames par secondes⁴⁰.

Concernant la seconde contrainte, le flux étant envoyé en temps réel, il nous est nécessaire de minimiser le temps espaçant la réception du dernier échantillon et la prédiction renvoyée à Unity.

Deux scripts fonctionnent pour cela en parallèle.

- Le premier s'occupe de la réception des données de mouvement et de leur stockage dans notre mémoire tampon. Cette dernière fonctionne comme une pile FIFO (*First In First Out*), maintenant ainsi un registre en permanence rempli des dernières données provenant de Unity.

- Lorsque la mémoire est pleine et qu'aucun calcul n'est en cours, un second script est déclenché. Les données de mouvements sont alors converties en descripteurs, puis, une fois normalisés, ces derniers sont donnés aux modèles neuronaux qui en extraient leurs prédictions.

L'ensemble est finalement renvoyé au programme e Unity avant de relancer un nouveau calcul à partir des dernières données reçues.

Ce système parallélisé permet de réaliser les prédictions tout en maintenant la mémoire tampon à jour avec les données de mouvement les plus récentes. Ainsi, aucune donnée n'est égarée et le temps séparant chaque prédiction est minimisé. Sur des ordinateurs récents, il est ainsi possible d'obtenir un temps de calcul d'environ 0.6 secondes entre l'envoi des dernières données et la réception des prédictions correspondantes.

3.6.7 • Pré-câblage entre Unity et le modèle algorithmique

Avant d'aborder la section relative au développement des prototypes, une ultime étape reste à accomplir. Elle consiste à rendre utilisables ces différentes données par le programme Unity.

Afin de faciliter le travail de conception à venir, il est nécessaire d'avoir un maximum de latitude sur la manière d'intégrer ces données, et se doter de quelques outils pour pouvoir influencer sur leurs comportements.

Pour rappel, nous avons donc accès ici à un ensemble de 78 valeurs, les deux notes d'expressivité, la note de cohésion, les 38 descripteurs individuels (19 pour chaque participant) et les 37 descripteurs relationnels.

Nos données étant normalisées, et oscillant entre 0 et 1, elles peuvent toutes être directement associées aux différents paramètres de notre moteur 3D (paramètres environnementaux, apparences des corps, représentations du mouvement, paramètres sonores...).

Néanmoins, et souhaitant programmer des réactions sensibles aux fluctuations du geste, leur forme encore brute n'est pas adaptée à toutes les utilisations qu'on peut envisager.

⁴⁰ Les modèles neuronaux sont entraînés à partir d'échantillons calculés sur 70 frames, à partir de mouvements captés à 60 frames par secondes (représentant donc 1,17 seconde de mouvement).

Diviser par deux la quantité d'échantillons envoyée ne s'avère pas gênant du moment que le temps effectif de mouvement est le même et que le code Python est adapté en fonction.

Dans de nombreux cas, il nous sera souhaitable d'en lisser les comportements, voire de les détourner de leur forme linéaire.

Un ensemble de fonctions mathématiques peuvent être alors employées parmi lesquelles on peut citer par exemple :

- Une Activation On/Off, soit une porte logique dont l'ouverture est déterminée par le franchissement d'une certaine valeur seuil.
- Un Multiplexeur, dont différents intervalles prédéfinis peuvent engendrer des réponses différentes en fonction des valeurs de notre variable.
- Une oscillation, grâce à des fonctions de type sinusoïdale, la fréquence et l'amplitude de l'oscillation pourront être déterminées par notre variable et par le temps écoulé.
- Un polynôme combinant plusieurs de nos variables dotées de pondérations différentes.

De nombreuses autres fonctions peuvent être utilisées, dont on peut trouver un résumé plus exhaustif ici⁴¹.

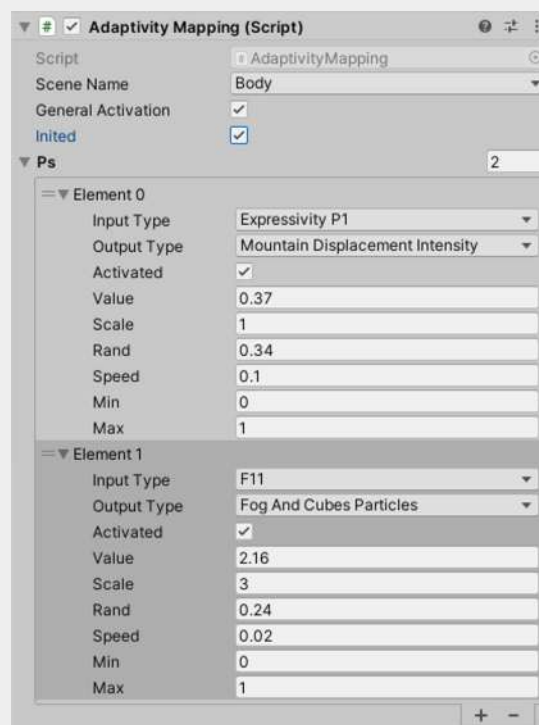


Fig. 94 · Aperçu du script *AdaptivityMapping* permettant d'associer facilement les paramètres d'entrée et de sortie

À nouveau, une grande diversité de possibles s'annonce. Je présenterai dans la prochaine section la dernière étape de conception consistant à imaginer toutes les réactions sensibles possibles de notre système immersif, mais pour pouvoir néanmoins tirer profit de ces

41 <https://libgdx.badlogicgames.com/ci/nightlies/docs/api/com.badlogic.gdx/math/MathUtils.html>

différentes idées, il m'est nécessaire de pouvoir les tester rapidement, afin de trier et de ne garder que celles qui sont effectivement intéressantes.

Un script est développé spécialement pour cette fonction, me permettant de combiner facilement des données d'entrée et des données de sorties directement dans Unity.

Ce système permet de créer une liste de fonctionnalités où tous les descripteurs et métriques reçus par Unity peuvent être directement branchés à l'ensemble des paramètres envisagés. Dans la Fig. 94 ci-dessus on peut par exemple voir deux paramétrages associant l'expressivité du danseur 1 à une déformation du terrain (*displacement intensity*), et la hauteur de la main gauche à la puissance d'un système de particules.

Certains paramètres additionnels permettent de régler par exemple le gain de la valeur de sortie, ses valeurs minimales et maximales (via une mise à l'échelle), la doter d'une valeur random, et pour celles qui le nécessitent de modifier un facteur de vitesse (permettant par exemple d'accélérer et ralentir une oscillation).

L'ensemble du programme est à présent prêt pour aborder la dernière phase, consistant à déterminer les combinaisons les plus intéressantes entre entrées et sorties, et à en tester l'effet directement en mouvement et en immersion.

3.7 • Preuve de concept pour l'interaction implicite - Relation ambiante au mouvement

Après avoir identifié les paramètres variants au sein de mon contexte d'expérience, et implémenté un ensemble d'outils pour parvenir à en faire une acquisition en temps réel, cette prochaine étape de travail consistera à définir, tester et calibrer un prototype mettant en jeu ces formes interactives multimodales.

La finalité artistique de ce travail détermine l'approche par laquelle il doit être réalisé, et garde comme critères principaux la justesse et la qualité des émotions provoquées par ces associations entre geste et réponse sensible.

Ce prototype visera donc à proposer différentes scènes visuelles et à y favoriser une exploration intuitive, tout en amenant l'utilisateur à prendre conscience de la richesse de son expressivité corporelle.

Je cherche ainsi à encourager un « moins bouger » et un « bouger juste », à privilégier une recherche expressive plutôt qu'un mouvement frénétique et désordonné.

J'incorporerai également et à plusieurs reprises la séquence gestuelle d'un « autre » dans ces scènes. Ce mouvement sera issu des jeux de données collectés jusqu'ici, mais la perception en sera volontairement limitée car le propre de cette recherche sur l'interaction implicite envisage plutôt une relation ambiante, tournée davantage vers l'espace que vers un autrui. Cette astuce me permet tout de même de tester les potentiels effets de cette co-présence sur l'environnement et sur la perception de leurs mouvements individuels et partagés.

Enfin, ce travail ne se destinera pas pour l'instant à une configuration multi-utilisateur. Une autre expérience purement relationnelle et centrée sur l'interaction explicite sera elle, proposée en section 3.8.

3.7.1 • Idéation pour des connexions sensibles à l'environnement virtuel

Je commencerai ici par une phase d'idéation, consistant à générer un maximum d'idées de réactions numériques dans le contexte expérientiel considéré, sans me soucier toutefois de leurs complexités de réalisation ou de leurs impacts estimés sur la qualité d'expérience. Au contraire, dans un premier temps ce travail vise à mettre de côté mes propres intuitions pour faire preuve à la place d'une plus grande originalité, voire pour réussir à me surprendre moi-même.

Les capacités des moteurs 3D comme Unity étant extrêmement larges et étant moi-même dépourvu de la moindre contrainte esthétique, je décide de prendre socle sur quelques questions et thématiques inspirées des qualités de geste de Laban. Ces thématiques se nomment donc « Espace », « Temps », « Corps » et « Effort », chacune associée à une question propre :

Espace - Comment l'environnement perçu oriente-t-il mon attention et nos stratégies d'action ?

Temps - Comment mon mouvement peut-il être relié au passé, au présent et au futur de l'expérience ?

Corps - Comment mon embodiment influe-t-il sur ma spécification et ma volonté de bouger ?

Effort - Peut-on faciliter, alléger ou compliquer le mouvement en altérant juste son rendu visuel ?

Je réalise cette idéation seul, en passant successivement d'une thématique à une autre, et tentant pour chacune de générer un maximum d'idées. À l'issue de cette phase, j'obtiens une vingtaine d'éléments par thématique, dont voici quelques exemples :

Espace :

- jouer sur les perceptions de distances, dévoiler plusieurs couches d'informations les unes après les autres
- projeter le mouvement 3D en 2D, sur un mur ou par des effets d'ombres
- entourer la scène d'objets massifs et distants
- répéter la même scène à l'infini

Temps :

- pouvoir voir son mouvement passé
- n'afficher la scène ou le corps que lorsqu'on est en mouvement
- représenter le temps restant avant la fin de l'expérience, pouvoir interagir avec, l'accélérer ou le ralentir
- voir son mouvement à l'envers (effet *Reverse*)

Corps :

- lutter contre sa propre disparition
- agir au-delà de notre kinésphère
- être ni visible ni invisible
- faire partie du décor
- couler, se casser, se répandre

Effort :

- lutter contre nos propres mouvements

- le mouvement est vu en retard (inertie)
- faire léviter/frémir les objets de la scène

La liste complète de ces idées peut être retrouvée en Annexe V.

La proposition de faire « léviter des objets » m'interpelle tout de suite, je vois là une première occasion de ressentir facilement le lien entre mes descripteurs de geste et les réactions de l'interface. De cette idée émerge alors naturellement une première version fonctionnelle du prototype.

3.7.2 • Forger des intuitions sur la relation au mouvement en immersion

Afin de comprendre d'une part comment mes différentes métriques du geste peuvent s'éprouver en immersion, et d'autre part de vérifier que tout le système développé fonctionne correctement, cette première preuve de concept propose une visualisation en temps réel de chaque donnée (descripteurs et mesures d'expressivité⁴²).

Conceptuellement très simple, elle se révèle très utile dans ce processus. J'associe ici chaque métrique à un pilier vertical, le long duquel une sphère glisse de haut en bas. La valeur instantanée de chacune d'entre elles s'affiche au bas de son pilier et varie au cours du temps. Le haut des piliers représente ainsi la valeur maximale et le bas la note minimale (Fig. 95).

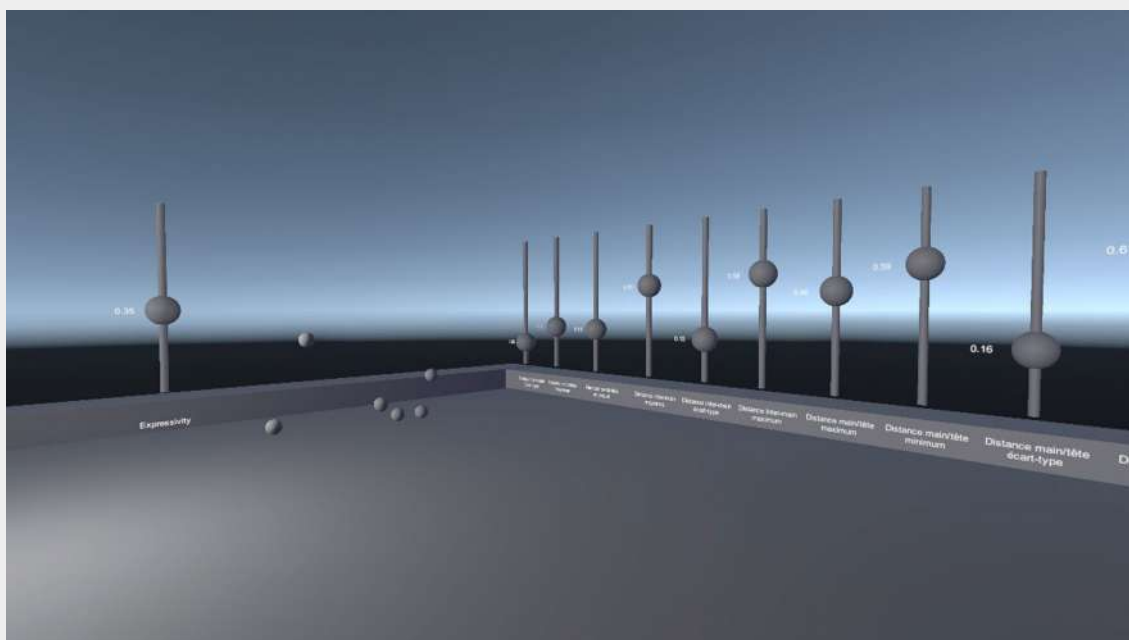


Fig. 95 • Vision à la troisième personne du dispositif, l'ensemble des piliers réagissent aux données de mouvements jouées en direct

42 La mesure de la cohésion relationnelle ne sera pas ici testée, réalisant le travail seul. Pouvoir tester son comportement directement en immersion nécessitera d'adapter l'expérience pour être faite avec un partenaire, ce qui devrait être fait au cours d'un prochain workshop.

Dès le début de l'expérience, le simple fait de s'immerger dans la scène déclenche une réaction immédiate. Chaque sphère s'anime alors avec sa propre logique, invitant à s'attarder tour à tour sur chacune et d'apprécier la relation particulière qu'elle lie avec le geste intuitif. Pour rendre l'expérience plus ludique, je rajoute un système consistant à n'afficher qu'un pilier à la fois, et à masquer la métrique considérée. Lorsqu'une sa valeur seuil est atteinte, celui-ci se retrouve alors automatiquement remplacé.

Cette seconde version du concept ajoute donc une tâche concrète au programme, invitant à explorer son propre mouvement et à en comprendre directement l'effet.

D'un simple outil de mesure, le pilier devient alors un outil de recherche, orienté vers la conscientisation de la richesse expressive du mouvement corporel.

Cette phase de test me provoque plusieurs réactions. Certains piliers sont en effet plus simples à « valider » que d'autres, et chacun d'entre eux révèle ici des propriétés et des sensations différentes.

- Certains descripteurs comme ceux mesurant la hauteur des mains sont évidents à contrôler, rendant la manipulation agréable mais trop simple.
- Ceux mesurant les écarts-types sont plus exigeants à l'usage et renseignent davantage sur un état de danse. Leur faire atteindre leurs valeurs maximales implique de performer des changements brusques et répétés dans le mouvement, ce qui n'apparaît pas spécialement naturel.
- Les différentes valeurs maximales, moyennes et minimales étant calculées sur 5 secondes, elles n'affichent que les restes d'intentions déjà passées. Cette particularité rend leurs usages intéressants pour mesurer des tendances, mais peu pertinents pour la programmation de réactions soudaines.
- Enfin la prédiction d'expressivité est intéressante car elle réagit à plusieurs types de caractères gestuels. Je parviens à lui donner des valeurs élevées en étant tantôt figé et tantôt mu au contraire par un mouvement énergique. Je n'arrive pas spécialement à en anticiper le comportement sauf lorsque je garde les bras ballants. La valeur atteint alors son point minimal, à raison, car cette position est pour moi le signe d'un manque total d'engagement dans l'interaction.

Ces différentes observations m'invitent à organiser ces différents descripteurs au regard de leurs intelligibilités respectives, c'est-à-dire l'évidence avec laquelle il m'est possible de comprendre l'association entre mon action et les retours que j'en perçois. Selon les cas il pourra être intéressant de rendre ce lien évident, mais pour la conception d'une expérience abstraite il sera certainement plus pertinent d'en créer des compositions plus complexes.

Je me contenterai de garder cette première preuve de concept dédiée à cette simple fonction. Éprouver les sensations produites par l'association de ces différentes métriques avec un retour visuel direct m'est en effet très utile.

Je peux à présent itérer sur ce principe, continuer d'explorer ces différentes associations entrées/sorties d'une manière plus esthétique, et pourquoi pas en forcer le caractère inattendu.

3.7.3 • Affective Landscapes - Des rapports affectifs à l'environnement

Cette seconde phase de prototypage porte sur l'écriture d'une expérience proprement esthétique, dont les logiques d'interactions naturelles se focalisent sur la relation entre intuitions et mise en mouvement.

Je prends ici support sur la liste des réactions perceptives constituée lors de la précédente phase d'idéation et en isole plusieurs groupes dont les imaginaires semblent se rapprocher. Certains de ces groupes s'apparentent à des expériences de nature, d'autres jouent plutôt sur la perception et les jeux corporels, certains enfin sont davantage centrés sur les différentes visualisations du mouvement.

J'organise ces groupes en quatre sortes de « paysages affectifs ». Le mouvement y est à chaque fois le principal médium de compréhension et d'appréciation et il oscille ici entre deux fonctions : un mouvement spécifique, qui permet de comprendre les règles en place, et un mouvement créatif, qui vise à employer ces règles nouvellement comprises pour tenter de maîtriser chaque espace.

Cette expérience se veut donc être à la fois un support démonstratif de l'idée d'interaction implicite, mais aussi un laboratoire d'exploration de sensations nouvelles et de logiques qui pourront être réemployées plus tard sur d'autres types d'expériences.

Je vais détailler à présent ces quatre paysages, aux identités visuelles et interactives distinctes.

Scénario Oxylus

Cette première scène tire profit des capacités de rendu poussées des moteurs de jeu et vise à créer une relation avec une nature environnante et luxuriante.

Cette thématique de la forêt invite à ressentir une épaisseur de l'air, l'humidité, la protection, le vent.

Elle joue à la fois des paramètres de lumière, de systèmes de particules multiples, d'effets de caméra, et profite des outils de création de terrain et d'arbres internes au moteur 3D.



Fig. 96 et Fig. 97 • Vues *in progress* de la scène Oxylus

Interactions explorées :

- influencer sur la densité de l'air
- contrôler le vent dans les arbres

- jouer avec les rayons du soleil à travers les feuilles
- amplifier la saturation des couleurs, les rendre fantastiques
- faire partie des lucioles en lévitation

Scénario Pan

Cette seconde scène est d'inspiration naturelle également, mais sous une forme cette fois plus « extrême ». Elle invite à faire ressentir l'immensité et la petitesse, le vide, l'engagement, la poussière, le froid et le chaud.

D'un point de vue relationnel, elle invite à chercher l'autre à travers ses traces dans la neige, ou à travers les flocons que son mouvement va créer. En bougeant vite, la trace du geste peut ainsi apparaître, avant de s'évanouir au sol.

La taille même des montagnes évolue avec le temps et l'expressivité, pouvant nous amener à se retrouver enfermé au milieu d'elles, ou de se retrouver à leurs sommets, à dominer l'entièreté du paysage et son horizon.

Cette thématique cherche à reproduire des impressions que j'ai pu vivre moi-même en montagne, où l'accès au sommet est à la fois un accomplissement, une délivrance, mais un moment littéralement hors-sol, dû à ce mélange d'euphorie et d'anticipation de la redescente à venir.

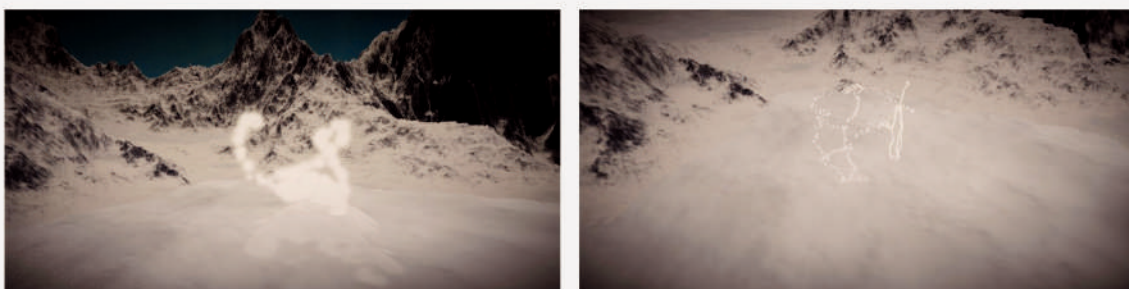


Fig. 98 et Fig. 99 - Vues *in progress* de jour de la scène Pan

Interactions explorées :

- La hauteur par rapport à l'environnement évolue avec le temps
- La forme même de l'environnement et des montagnes répond à nos gestes
- L'épaisseur des nuages et de l'air nous emprisonne jusqu'à ce que ceux-ci se dissipent et nous révèlent un ciel dégagé.
- Le jour et la nuit alternent et contribuent à ce sentiment d'emprisonnement
- Notre mouvement nous permet de nous voir, par l'émission de flocons neige et par les traces qu'on laisse dans le sol



Fig. 100 • Vue *in progress* de nuit de la scène Pan

Scénario Nérée

Cette troisième scène fait la transition avec la scène de nuit de Pan et transforme l'environnement en fonds marins. L'exploration y est douce et exploite l'effet d'une inertie appliquée sur le mouvement perçu. Les mains des utilisateurs sont remplacées par des sortes de perles nacrées qui suivent le mouvement avec un léger délai. Celui-ci peut-être plus ou moins fort en fonction de la force produite et contraint donc les mouvements à être lents.

Tout autour, des particules flottent et semblent réagir aux gestes, comme si les changements brusques de ces dynamiques gestuelles en provoquaient les remous.



Fig. 101 et Fig. 102 • Vues *in progress* de la scène Nérée

Interactions explorées :

- la longueur du délai entre le mouvement et la perception qu'on en a, influence les dynamiques gestuelles et l'état vécu
- on peut induire un sentiment de légèreté en freinant artificiellement le mouvement
- notre conscience peut être progressivement dirigée vers le lointain, en donnant à nos gestes la possibilité de créer des ondes qui parcourent l'environnement.

Scénario Ether

Cette dernière scène invite à prendre conscience de l'aspect imprévisible du virtuel, voire des choix du créateur. L'environnement est ici en constant mouvement, il se déploie et se développe autour d'un imaginaire de l'énergie en volume et des formes pures.

Si elle se veut toujours minimaliste, l'inspiration se condense ici autour de plusieurs explorations graphiques et sensorielles, qui ont pu émerger au cours du projet Articulations et ont été retravaillées depuis.

Dès le démarrage de la scène, le corps est absent. Les dynamiques de geste captées se connectent à des paramètres ambiants. L'intensité des couleurs et les distances se tordent par rapport au mouvement performé.

La présence d'un autre peut également être sentie lorsque lui et moi sommes proches, les particules que lui et moi laissons sur notre passage sont alors simultanément attirées les unes par les autres.

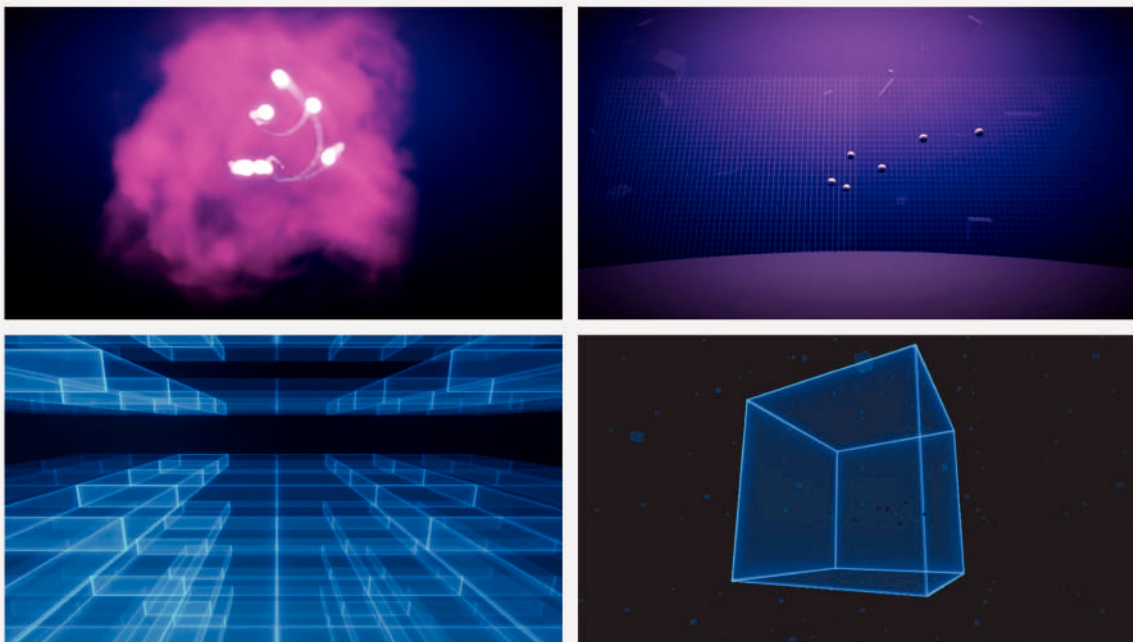


Fig. 103, 104, 105 & 106 · Vues *in progress* de la scène Ether, l'environnement immergé dans des formes géométriques en mouvement

Interactions explorées :

- dissoudre progressivement les limites entre soi et l'énergie ambiante
- se démultiplier, à travers des réseaux de formes abstraites environnantes
- nos gestes causent des effets de caméra, manipulant la profondeur de champ et les aberrations chromatiques du rendu
- les échelles se distordent
- l'autre et moi-même nous sentons à travers l'action d'une force physique qui attire nos émanations les unes vers les autres

3.7.4 • Retours d'expérience et analyse personnelle

Afin de garder un effet de surprise lors de ma propre appropriation de ces différentes scènes, et pour pouvoir me perdre dans l'exploration malgré une connaissance des rouages de chaque scène, j'envisage une approche inspirée du jeu de cartes présenté en section 2-2. J'utilise pour cela le système présenté en section 3-6-7, pensé justement pour réaliser des successions d'associations randomisées, où tous les paramètres manipulables de chaque scène se lient à chaque nouveau lancement de scène à des descripteurs de gestes différents. Ce système permet ainsi d'itérer rapidement entre plusieurs combinaisons, et de garder en mémoire celles qui apparaissent les plus agréables et stimulantes.

J'entame alors plusieurs phases d'immersion dans ces différentes scènes, pour en extraire le plus d'intuitions possibles.

À chaque tentative, des sensations différentes de proximité émergent. Je m'efforce pour chacune d'elles d'en retrouver les paramètres actifs et d'arriver à en maîtriser les effets. Les associations les plus évidentes apparaissent sans surprise comme les moins intéressantes et les moins dansantes.

Celles associant la hauteur des bras s'avèrent trop souvent explicites, voire même gênantes pour porter l'attention sur le reste de la scène. Celles qui usent des écarts-types proposent généralement des formes tangibles de réactions sensibles, souvent assez dures à saisir et à maîtriser. La note d'expressivité quant à elle paraît assez diffuse lorsque les réactions sont de nature ambiantes (intensité du vent dans la scène Oxylus, ou épaisseur du brouillard dans la scène Pan), et parfois brutaux lorsqu'ils sont trop évidents (intensité lumineuse des avatars dans la scène Oxylus, intensité de l'attractivité des particules dans la scène Ether).

Ces différentes appropriations du système d'associations randomisées sont intéressantes, car elles stimulent chez moi des idées nouvelles. Elles m'invitent par exemple à recalibrer tout de suite l'interprétation de certains paramètres, recourant à des moyennes différentes en fonction du type de réaction visuelle considérée, mais aussi en me faisant songer à des idées de réactions et de designs supplémentaires. Pourtant, elles s'avèrent vite lassantes en connaissance du principe interne et les différences entre deux immersions sont pour le coup trop minces pour y renouveler complètement l'étonnement.

J'opère ensuite une phase de test auprès de mon réseau proche, à qui je présente seulement le principe de base : « ton mouvement se connecte de multiple manière à l'environnement que tu vois, à toi de t'en emparer ». Plusieurs informations apparaissent alors distinctement. Je constate par exemple rapidement que lorsque l'autre avatar est visible, l'attention de l'immersant ne se porte alors que sur lui, oubliant les relations mêmes à l'environnement.

Je revois également cette tendance consistant à se concentrer sur les interactions les plus explicites et évidentes (à nouveau celles associant les hauteurs de bras) et à oublier de fait celles plus abstraites ou complexes à maîtriser.

Ces deux observations m'amènent à conclure sur plusieurs aspects :

- Le niveau d'intelligibilité d'une interaction doit être pensé au regard de l'évidence du retour perceptif induit. Selon cette logique, les fonctionnalités explicites d'un système numérique doivent proposer des règles évidentes et instantanément saisissables, à travers des modalités simples et intuitives, tandis que les états sensibles renvoyés par un environnement virtuel doivent plutôt refléter les actions non conscientes des utilisateurs.
- Les interactions explicites et implicites ne peuvent pas cohabiter en requérant un même niveau d'attention. Que ce soit du point de vue des distances physiques, ou de la subtilité des changements perceptifs, la multimodalité se doit d'être pensée à travers plusieurs espaces attentionnels. On ne peut vraisemblablement pas demander à un utilisateur de se concentrer sur son action à l'arrière-plan alors même que son attention est mobilisée sur ce qui bouge au plus près de lui. De la même manière ses différentes modalités d'action se doivent d'être pensées en lien avec la manière dont il priorise son attention sur ce qui l'entoure.
- Enfin et concernant l'idée même de multimodalité, il semblerait plus judicieux de minimiser le nombre d'interactions explicites actives en simultanée, tandis qu'à l'inverse la manipulation d'états sensibles pourra requérir à des combinaisons plus importantes de modalités abstraites, sans pour autant nécessiter que leurs actions individuelles soient directement saisissables.

Dans le cas d'une expérience de conscientisation de l'expressivité corporelle invitant au « bouger juste », comme celle considérée ici, il peut être intéressant à ce titre de commencer l'expérience par l'appropriation de modalités explicites, puis de diriger progressivement l'attention vers l'environnement et l'appréciation de modalités plus abstraites et ambiantes. La relation à l'environnement pourra se penser alors comme intrinsèquement liée à la manipulation du regard, en amenant l'utilisateur à porter progressivement cette attention de son espace proche à tout ce qui l'entoure et l'englobe.

Cette phase expérimentale autour de l'interaction implicite se terminera donc ici, et toute la matière développée ici fera l'objet d'une démonstration dans le cadre de ma soutenance de thèse. Mon exploration de la relation entre geste et expérience sensible se focalisera à présent sur le volet plus explicite de l'interaction naturelle, m'inspirant directement des expériences d'altérité vécues en réalité diminuée partagée et de mes propres travaux sur l'analyse du mouvement relationnel.

3.8 • Preuve de concept pour l'interaction explicite - Un danseur médian

3.8.1 • Un nouveau paradigme d'interaction relationnelle

Cette dernière section expérimentale se focalise finalement sur une étude du volet explicite de l'interaction naturelle, que je considère comme la seconde composante fondamentale à l'engagement dans toute expérience immersive et spatialisée.

La composante implicite était focalisée sur une forme contemplative et relativement passive d'interaction, cherchant à mobiliser les qualités d'écoute et à induire un « bouger juste » chez l'utilisateur. La composante explicite adresse quant à elle ce qu'on manipule en conscience, et à travers lequel on cherche à établir des règles.

Les éléments présentés ici reprennent une idée introduite plus tôt lors de l'étiquetage des données de performances relationnelles (voir section 3-5-3), mais qui s'est finalement révélée porteuse d'un tout autre intérêt que celui escompté à l'origine.

Au cours d'un troisième workshop à Larret en novembre 2021, nous menons, en compagnie de l'équipe Articulations, diverses sessions de travail, oscillant entre pratiques somatiques et réflexions sur l'ensemble du travail réalisé depuis le début du projet en 2019.

Nous y discutons notamment des différents outils et méthodes pouvant nous permettre de tirer profit des données de mouvement récoltées. Je présente à cette occasion mes propres travaux d'apprentissage automatisé, dont le concept du danseur médian qui s'était avéré fructueux pour entraîner mes modèles à la reconnaissance de caractères relationnels au sein des performances.

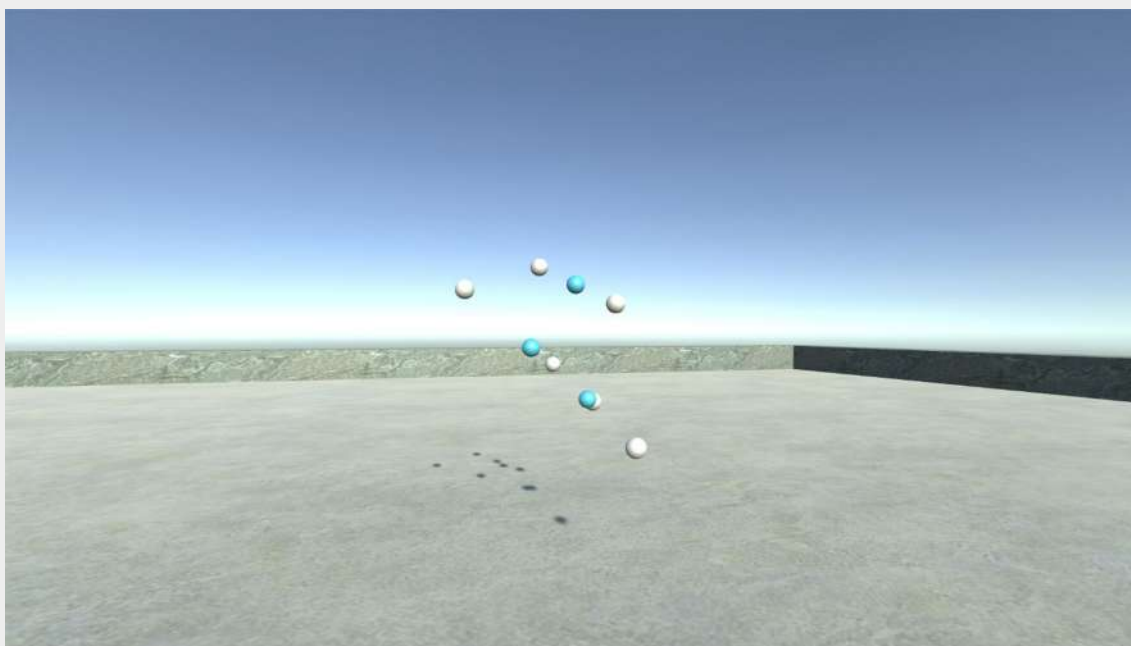


Fig. 107 • En bleu, le danseur médian est au milieu des deux danseurs, créant une matérialisation de leur mouvement relationnel

Formé de trois points à l'équidistance des deux têtes et des quatre mains des participants, ce pantin contient finalement en lui l'essentiel des dynamiques des deux partenaires, tout en en diminuant le nombre de points d'intérêt. Il incarne une sorte de matérialisation de la relation et suggère à ce titre de nombreuses pistes de réflexions esthétiques et philosophiques.

Nos discussions nous amènent naturellement à questionner les sensations que ce médian pourrait procurer s'il était visible au cours d'une interaction et les qualités relationnelles qu'il

pourrait induire. Il est vrai que ce module était pensé à l'origine pour une analyse à postériori des performances mais son adaptation pour une finalité temps réel n'est en rien complexe. Il se retrouve donc rapidement intégré au dispositif Articulations et nous commençons à l'enrichir de quelques intuitions.

Nous décidons de commencer par comparer deux conditions: la première laissant voir les avatars d'Articulations plus le danseur médian (9 sphères au total, Fig. 107), et une seconde où seul le médian reste visible (uniquement les trois sphères bleues).

Dans un cas comme dans l'autre le concept apparaît comme un matériau interactif très engageant, suscitant d'ailleurs beaucoup d'intérêt auprès des membres de l'équipe (Fig. 108).



Fig. 108 • L'une des phases du workshop où fut présenté le concept de danseur médian

Les deux conditions proposent des sensations sensiblement différentes. Dans la première, on voit apparaître entre le partenaire et nous une sorte de troisième entité, familière et amicale, dont on se sent rapidement proche. L'attention est résolument focalisée sur elle, oubliant presque le partenaire qui est le plus souvent caché derrière les sphères intermédiaires. La sensation globale est proche de celle d'Articulations à ceci prêt que le médian dégage de toute évidence une forte proximité affective, très certainement liée à la copie partielle de

nos propres mouvements. Le nombre important de points d'intérêts (8 sphères visibles en comptant nos deux mains) rend néanmoins l'expérience plus complexe, et peut-être inadaptée à des utilisateurs non-initiés.

À ce titre, la seconde condition est peut-être encore plus saisissante, car d'un rapport d'altérité on passe à présent à une expérience qui oublie l'idée même de corps. Les avatars minimalistes ne sont plus visibles, et les sphères médianes redeviennent ainsi des objets minimalistes en flottement. La relation aux sphères est alors proprioceptive, et n'est plus contrariée par les dissensus cognitifs et par ce besoin étrange de s'incarner au sein d'un avatar non-anthropomorphe.

Toute l'expérience revêt alors un caractère magique, mon partenaire et moi-même ne nous voyons pas mais nous sentons mutuellement en plaçant chacun dans ces trois sphères une part de nous-même. L'interaction y est également ludique tout en restant simple et évidente.

Dans tous les cas, les retours enthousiastes que ce concept suscite nous encouragent à lui imaginer de plus amples ambitions.

3.8.2 • Une influence rééquilibrée... voire asymétrique

Dans l'idée de tester différentes configurations de ce danseur médian, et face aux déséquilibres évidents qui se manifestent à la fois dans les narratifs et les qualités gestuelles des différents participants, je fais part à l'équipe d'une idée supplémentaire : en écho avec les idées d'expérience adaptative ou de balance de difficulté progressive du Flow, le médian pourrait s'envisager comme un objet paramétrable et adaptatif.

Celui-ci étant pensé à la base pour être le mélange des mouvements de deux participants, un simple ajustement de pondération lors du calcul de la position médiane peut le rendre plus ou moins proche de l'un ou l'autre des deux partenaires. Plutôt que de considérer un contrôle partagé (chacun contrôlant 50 % du mouvement perçu), on pourrait envisager de donner à chacun un poids différent, voire de rendre ce poids évolutif et lié aux qualités relationnelles perçues.

Dans l'hypothèse où un plus grand contrôle favoriserait par exemple l'engagement au sein de la rencontre, on pourrait envisager de donner davantage de ce contrôle au participant le moins à l'aise, et faciliter ainsi la rencontre avec son partenaire.

Plus étrange encore, le danseur médian pourrait être pensé comme asymétrique. Celui-ci étant généré de part et d'autre (chaque programme fait son propre calcul du médian à partir des données partagées de mouvement des participants), on peut également programmer un mode où celui-ci est vu différemment par chacun.

Un tel mode permettrait de donner à chacun simultanément un contrôle dominant ou dominé sur le médian qu'il perçoit. Par exemple les deux participants pourraient chacun avoir la sensation de contrôler à 25 % leur médian, alors qu'ils auraient en parallèle 75 % du contrôle sur celui perçu par l'autre. Chacun agirait alors sur l'expérience du partenaire différemment qu'il ne serait capable de le percevoir, induisant ainsi potentiellement et de part et d'autre une écoute mutuelle ou bien des états de plus grand confort.

Ces idées germent donc pendant plusieurs semaines et dressent finalement les bases d'un nouveau protocole expérimental.

3.8.3 • Vers le développement d'un nouveau protocole expérimental

Forts de ces premières approches et des discussions tenues autour de l'idée de contrôle évolutif, un second workshop de trois jours est organisé au centre CNRS Pouchet à la fin mars 2022, pour ressentir directement cette idée de contrôle progressif, et pour établir de ces sensations un réel protocole expérimental (Fig. 109).



Fig. 109 • La configuration utilisée pour l'étude du médian progressif

Nous y testons plusieurs configurations de contrôle partagé en ne choisissant d'afficher que les sphères médianes (pas de retour de la position de ses propres mains ou de celles du partenaire), et en alternant entre des répartitions de 25/75, 40/60, et 50/50⁴³.

S'il est rapidement évident pour une personne initiée de reconnaître la quantité de contrôle qui lui est donnée (les sensations entre un contrôle à 25, 50 et 75 % sont en effet très différentes), les poids de 40 % et 60 % restent plus subtils, la différence par rapport à une condition à 50 % étant bien sûr moindre.

Dans la condition à 40 %, je me sens en contrôle partiel de l'objet mais je ressens également une sorte de péril. Je suis impliqué dans l'interaction mais je sens aussi qu'il m'est nécessaire de bouger pour garder le contrôle, comme si j'avais besoin de parler légèrement plus fort pour me faire entendre. À 60 % je suis en revanche assez connecté à l'autre, même si l'interaction me paraît aisée et fluide, voire moins intéressante.

⁴³ Un contrôle de 25/75 signifie que mon mouvement a trois fois moins d'effet sur le mouvement perçu que celui de mon partenaire, à 50/50 notre contrôle est égal

Nous testons également les conditions où le danseur médian est asymétrique, alternant cette fois entre des valeurs de 25/25, 40/40, 60/60 et 75/75⁴⁴. Du point de vue des qualités relationnelles, le comportement du médian change alors radicalement.

Être pourvu d'un contrôle de 25 % est très différent si, en face, mon partenaire à lui aussi 25 % ou s'il a 75 %. Dans le premier cas nous allons tous les deux provoquer chez l'autre des mouvements plus amples que ceux que nous percevons chez nous. Le partenaire peut percevoir cela comme une sur-expressivité, pouvant paraître parfois agressive et non contenue. Être tous les deux à 25 % nous invite rapidement l'un et l'autre à la retenue, à l'observation, voire à l'adoption d'une posture défensive. Quand par contre nous avons tous les deux 75 %, nous sommes assurés d'être en contrôle. Nos mouvements se minimisent et deviennent plus précis. Le partenaire voit alors un mouvement plus affirmé, même s'il n'est finalement perçu qu'à 25 %.

C'est finalement peut-être les conditions 40/40 et 60/60 qui retiennent le plus notre attention, car là encore la sensation est moins évidente à différencier du parfait équilibre. À 40/40 nous ressentons tous les deux ce péril, ce qui nous force l'un et l'autre à redoubler d'inventivité et d'expressivité, sans que l'action perçue à 60 du partenaire ne nous bloque complètement. La condition 60/60 enfin nous plonge tous les deux dans une expérience plus agréable, ludique et confortable.

Toutes ces conditions changent donc profondément la donne quant aux stratégies déployées et au déroulement de la rencontre.

Après ces quelques séquences de test, nous décidons de convier quelques participants non initiés, pour qu'ils découvrent ces différentes conditions et qu'ils confirment ou non nos quelques intuitions ressenties jusqu'ici.

Nous proposons pour cela une première ébauche de protocole, enchaînant trois séquences d'immersion contenant chacune quatre conditions différentes d'une durée de 90 secondes.

Pour aider les participants à mieux identifier les différentes conditions, nous donnons une couleur différente au médian pour chacune d'entre elle et toujours dans le même ordre : vert, rouge, bleu, rose.

Session 1

La première session alterne les conditions comme suit :

Couleur du médian	% contrôle A	% contrôle B
Vert	50	50
Rouge	75	25
Bleu	60	40
Rose	40	60

Table 20 - Modulation du contrôle pour les participants A et B au cours des conditions de la session 1

⁴⁴ Un contrôle de 75/75 signifie que mon partenaire et moi avons tous les deux la sensation de contrôler 75 % du mouvement du médian, alors que nous n'avons tous les deux que 25 % du contrôle sur celui perçu par l'autre.

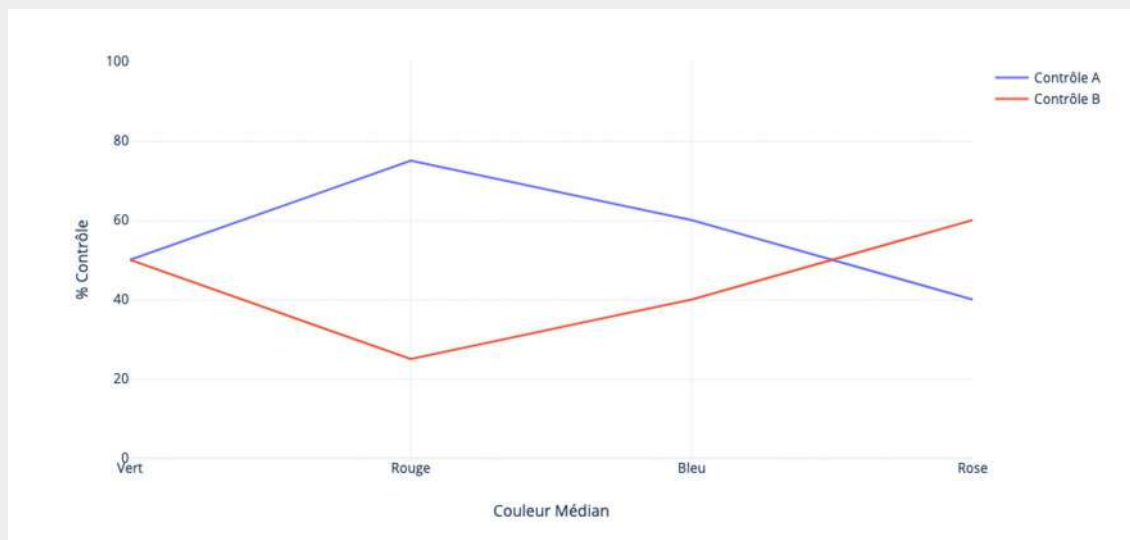


Fig. 110 • Modulation du contrôle pour les participants A et B au cours des conditions de la session 1

L'enchaînement y est assez direct. Après une première familiarisation à 50/50, A voit son contrôle augmenter jusqu'à retomber progressivement en dessous de la moyenne dans la dernière condition. B va subir le chemin inverse, perdant le contrôle mais le regagnant progressivement pour finir à 60.

Session 2

Couleur du médian	% contrôle A	% contrôle B
Vert	25	75
Rouge	25	25
Bleu	60	40
Rose	40	40

Table 21 - Modulation du contrôle pour les participants A et B au cours des conditions de la session 2

Cette seconde session est plus complexe. A commence ses deux premières conditions avec un contrôle à 25 % ce qui le place supposément dans une posture de dominé. Il regagne ensuite soudain une majorité du contrôle, puis le reperd pour finir en dessous de la moyenne. B se voit proposer quant à lui une expérience plus challengeante. Démarrant cette seconde session avec un contrôle à 75 %, il chute soudainement à 25, puis finira les deux dernières conditions à 40.

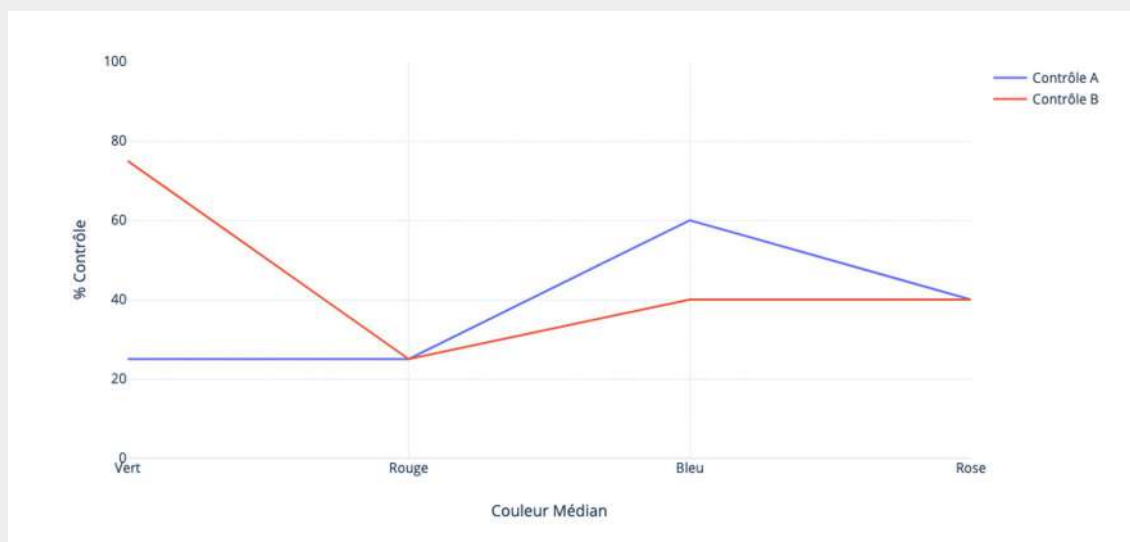


Fig. 111 • Modulation du contrôle pour les participants A et B au cours des conditions de la session 2

Session 3

Couleur du médian	% contrôle A	% contrôle B
Vert	75	75
Rouge	25	75
Bleu	50 (+ mains)	50 (+ mains)
Rose	50	50

Table 22 - Modulation du contrôle pour les participants A et B au cours des conditions de la session 3

Enfin pour cette troisième et dernière session, A et B vont commencer tous deux avec un contrôle à 75 %, mettant en lumière cette condition où l'un et l'autre apparaissent expressifs même s'ils n'ont que 25 % d'influence sur le médian de l'autre. Dans la condition rouge, A chute soudainement à 25 tandis que B garde le même degré à 75. Dans les deux dernières conditions nous décidons finalement de comparer les conditions 50/50 avec et sans la perception des sphères des participants (condition de base d'Articulation + médian).

Après chaque session, nous menons ensuite une série d'entretiens informels avec les participants, enregistrant et transcrivant leurs conversations pour recueillir leurs impressions. Je ferai part ici de quelques-uns des retours qui ont été formulés par les participants de deux dyades.

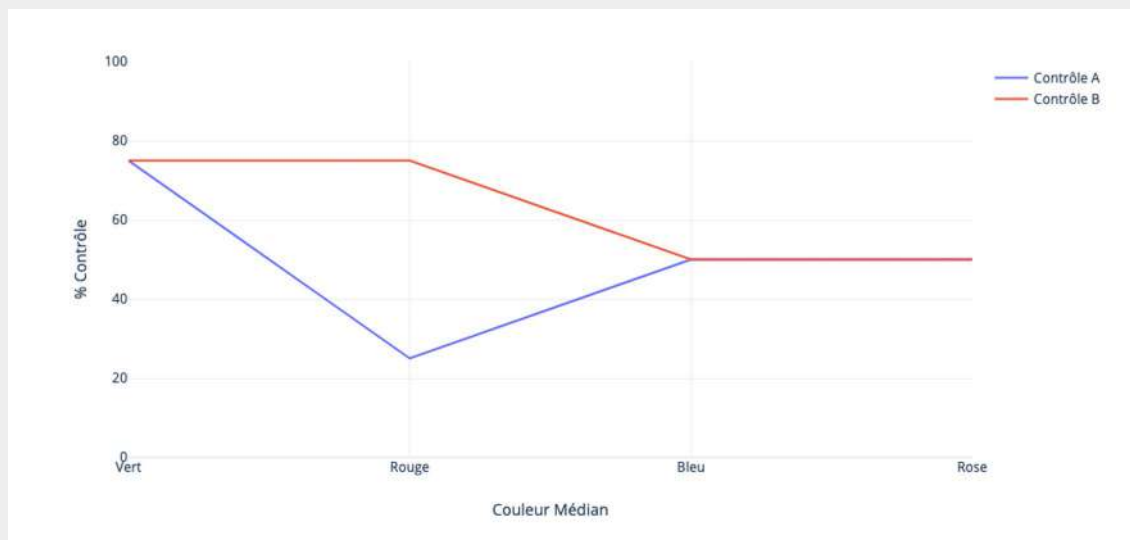


Fig. 112 · Modulation du contrôle pour les participants A et B au cours des conditions de la session 3

3.8.4 · Premiers retours d'expériences

Les commentaires suivants sont ceux formulés par deux de nos trois dyades, organisées par session. A1 et B1 font partie de la première dyade, tandis que A2 et B2 font partie de la seconde.

Session 1

A2 : J'aurais aimé que ce soit plus surprenant sur les réactions, je me suis retrouvé vite à cours de gestes. Je trouvais vraiment difficile de faire bouger ces sphères comme je le voulais.

B2 : On est assez vite dérouté, je ne suis pas très habile de mon corps et c'est bizarre d'avoir ces choses qu'on ne comprend pas. J'ai essayé de comprendre ce qu'il y avait derrière ces sphères, un écho ? Une personne ? Le hasard ? Le fait de ne pas comprendre m'a bloqué et limité. Sur la dernière couleur j'ai senti un écho à mes mouvements

A2 : J'ai cherché à me rapprocher plus du bleu, il était plus sympa, le rose aussi peut-être

B2 : Au début j'ai trouvé ces sphères assez oppressantes, trop proches. Petit à petit je me suis habitué. Les rouges me paraissaient plus agressives. J'ai essayé de me reculer mais elles s'accrochaient.

Dans cette première session, seule la seconde dyade apporte des commentaires qu'il me semble intéressant de notifier. Il y a déjà une sorte de distinction qui émerge de sa dynamique relationnelle, B2 exprime à plusieurs reprises son inconfort à s'exprimer

corporellement, et A2, sans connaître l'origine du mouvement des sphères exprime dès le début une forme d'ennui.

Concernant les caractères reconnus, on peut noter que les conditions bleu et rose (60/40 puis 40/60) plaisent davantage à A2 alors que la condition rouge précédente lui donnait un contrôle à 75 %. B2 s'est en revanche senti agressé lorsqu'il n'avait que 25 % du contrôle.

Session 2

A1 : Sur cette session, je me suis permis de juste observer et de moins bouger, notamment dans la condition rouge. C'était intéressant, j'avais davantage conscience d'être face à ma partenaire (B), j'avais envie de comprendre ce qui se passait quand je ne bougeais pas.

B1 : Dans la première condition (verte) j'ai eu l'impression que l'interaction était assez en miroir, alors que dans la condition rouge les balles semblaient me chercher plus. La bleue était plus autonome par rapport à moi, elle vivait plus sa vie.

Dans cette seconde session, A1 enchaîne deux conditions à 25 % et exprime naturellement avoir décidé de se mettre en observation. B1 a en revanche bien identifié l'aspect miroir de la première condition (75 %) et exprime observer une plus grande autonomie du médian lorsqu'il passe du rouge (25,25) au bleu (60,40).

Il est intéressant de noter que l'autonomie semble donc plus forte dans cette condition symétrique, que lorsque le médian est animé à 75 % par l'autre mais que cet autre ne perçoit son propre contrôle qu'à 25 %.

B2 : J'ai trouvé encore le rouge plus agressif, alors que le vert était bien plus sympa.

A2 : J'ai très vite basculé sur un mode où je suivais la sphère, je cherchais à lui répondre plutôt qu'à la guider. Comme la première session, j'ai eu l'impression que quelqu'un se glissait dans ses sphères. J'ai eu une sensation assez physique avec le rose, il venait plus vers moi. Le rouge était plus vif et plus lointain.

B2 : J'ai senti petit à petit un apaisement des sphères. J'ai senti qu'elles étaient dans l'incompréhension, le rouge me paraissait frustré de ne pas arriver à communiquer. J'essayais de m'échapper mais il me suivait et s'énervait.

A2 : En effet il y avait un apprentissage mutuel, comme nos deux algorithmes apprenaient l'un de l'autre.

B2 trouve le médian sympathique lorsqu'il a 75 % de son contrôle (condition verte), puis agressif en condition 25/25 (rouge). De son propre aveu, il dira que la couleur rouge influence peut-être son jugement, mais il est vrai aussi qu'à 25/25, le mouvement provoqué sur le médian de l'autre apparaît souvent plus vigoureux et intrusif que celui provoqué dans sa propre expérience.

A2 de son côté est lui aussi en écoute, en imitation, là encore possiblement induit par l'enchaînement de deux conditions à 25. Ce n'est qu'à la fin de la session que la rencontre semble se faciliter, alors que B2 sent semble-t-il les sphères s'apaiser.

Session 3

A1 : Plus d'attention aux couleurs cette fois-ci, j'ai remarqué un gros changement de qualité entre le vert et le rouge, le premier était plus calme et le rouge était très actif, j'étais plus dans l'observation. Après ça s'est calmé. Parmi les derniers (bleu ou rose) j'avais vraiment l'impression d'une réaction à ce que je faisais, si j'arrêtais, les boules arrêtaient, si je bougeais, elles bougeaient.

B1 : Encore en miroir pour la condition verte mais c'était plus riche, peut-être est-ce dû au fait que je commençais à m'habituer. Pour la condition rouge, j'ai laissé les propositions arriver, mais celui-ci était plus proche de moi. À nouveau il semblait me chercher, il était joueur.

A2 : Je n'ai pas vu Adrien dans l'expérience même si j'avais l'impression que j'étais manipulé par une personne

B2 : Au début j'avais la sensation que c'était lui, mais parfois ça me paraissait un écho de moi-même, voire un mouvement random.

A2 : j'ai trouvé que cette session était plus aisée, c'était plus fluide et joueur. Une sorte d'apprivoisement s'est fait, c'était très agréable.

B2 : Le rouge est plus dynamique, il a plus de caractère, j'avais plus de maniabilité sur lui

Sur ce troisième passage, les participants commencent à être très attentifs aux personnalités de chaque couleur. A1 reconnaît bien le passage de Vert (75) à Rouge (25) ce qui le rend plus observateur. Dans les deux dernières conditions à 50/50 il ressent davantage de connexion à son propre mouvement.

B1 ressent dans le 75/75 une sensation de miroir « riche », confirmant l'idée selon laquelle un participant à 75 de contrôle peut générer un médian expressif chez son partenaire, même si ce dernier n'en perçoit l'influence qu'à 25 %.

J'arrêterai ici le détail des commentaires, pour ne pas trop biaiser la réflexion avant la prochaine phase expérimentale du projet qui aura lieu en juin 2022 au centre Pouchet. Nous y mesurerons un certain nombre de performances dans la même approche que celle poursuivie jusqu'ici avec le projet Articulations, espérant à nouveau publier des données tangibles et donner une réelle existence au danseur médian sur le plan scientifique.

Je proposerai en revanche à présent quelques discussions sur ce principe de danseur médian au regard de mon questionnement sur l'interaction explicite, et les applications qu'il peut laisser espérer auprès d'expériences numériques plus larges.

3.8.5 • Le danseur médian, une interaction explicite inspirante pour le design d'expériences

Cette première sélection de commentaires semble aller dans le sens des observations et intuitions formulées plus tôt, et engage quelques réflexions sur l'application d'un tel concept à des interfaces numériques plus communes.

Premièrement cette idée de danseur médian propose un parti pris important vis-à-vis des immersants et de leur expérience : leur propre existence au sein de l'environnement virtuel est partiellement mélangée à une entité extérieure.

À la différence de la première version du projet Articulations où les avatars minimalistes semblaient être au moins une règle de base permettant d'échafauder toute éventualité d'action, face au danseur médian nos agentivité et embodiment sont sans cesse rebattus.

Le produit de mon interaction est ce qui me permet de me spécifier au sein du virtuel, et je dois pour cela m'assurer d'en garder le contrôle. Je crée ainsi un mouvement qui anime mon partenaire, lequel répond alors par son propre mouvement qui m'anime à son tour. Notre seule preuve d'existence provient alors de nos mouvements mêlés et l'expérience ne peut être dès lors que collaborative.

Deuxièmement, nous avons pu remarquer que diminuer le contrôle laissé aux participants sur l'objet co-animé tendait à les mettre en péril, voire à les placer fatalement dans des états d'observation. Rehausser ce contrôle semblait au contraire rendre l'expérience plus confortable, jusqu'à devenir potentiellement ennuyeuse.

Cette observation laisse imaginer qu'il existerait donc vraisemblablement une « zone idéale », propre à chacun, où le contrôle serait suffisamment faible pour que l'objet manipulé reste surprenant et stimule la recherche créative, mais serait également suffisamment fort pour que la sensation d'agentivité soit tangible et permette l'engagement. On pourrait alors supposer que faire converger chacun vers son degré de contrôle idéal pourrait permettre de favoriser la rencontre avec l'autre et développer ainsi la collaboration créative.

Ces deux précédents points illustrent à mon sens ce qui se joue à travers le volet explicite de l'interaction naturelle gestuelle :

Le retour perceptif que j'ai de mon action influence mes stratégies et peut m'amener à renforcer mon engagement, ainsi que ma collaboration avec mon partenaire, à être plus à son écoute ou bien à être davantage moteur de notre interaction. En cherchant dynamiquement ce point optimal de contrôle, et en le faisant varier au cours du temps, l'interface peut jouer un rôle déterminant quant à ma qualité d'expérience et aux productions qui peuvent en être issues.

Davantage qu'un simple outil, la médiation peut jouer ici le rôle de troisième partenaire, en filtrant l'information de telle manière qu'elle rende la collaboration presque inévitable, ou bien en mettant en lumière certains caractères propres à la rencontre, que ce soit à des fins pratiques, fonctionnelles ou esthétiques.

Plus alors qu'un exercice de pensée, il me semble intéressant de considérer cette idée du médian au-delà du scope du projet Articulations, et d'en envisager l'application à d'autres outils de collaboration numériques. Le numérique pourrait alors dépasser ce que le monde physique propose, un lieu et un temps de rencontre au-delà des contraintes naturelles, où les limites entre moi et l'autre sont volontairement brouillées et rebattues, faisant alors émerger de nouvelles formes de co-présences.

Je terminerai donc cette étude en tentant d'apporter une première instanciation de cette idée de médian adaptatif, réunissant mes inspirations premières avec certaines des outils développés tout au long de ce manuscrit.

3.8.6 • Instanciation d'un médian adaptatif

Reprenons tout d'abord ce lien entre le principe de contrôle adaptatif et le concept du Flow de Csikszentmihalyi, dont j'avais pu parler plus tôt dans mon état de l'art (voir section 1-1-1 et Fig. 113 ci-dessous).

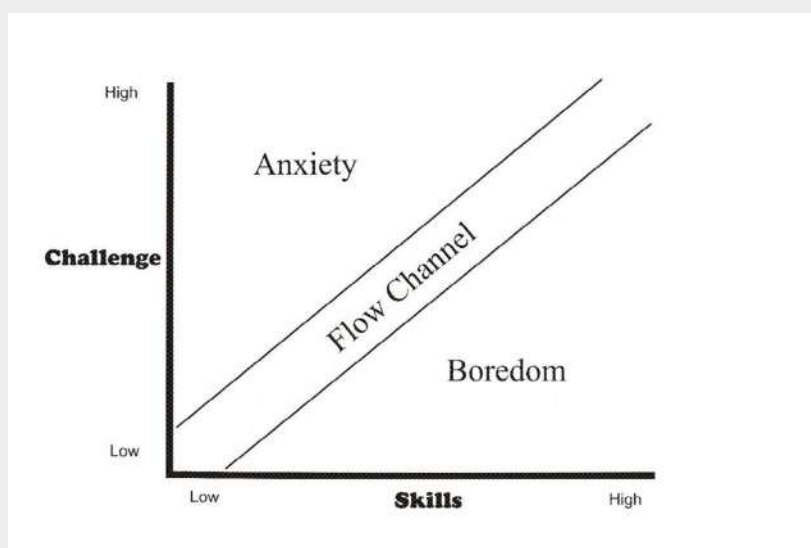


Fig. 113 • Modèle du Flow

Nous l'avons vu, le graphique proposé par Csikszentmihalyi conditionne l'atteinte de l'expérience optimale à la bonne adéquation entre le challenge demandé à l'utilisateur et ses capacités du moment. Cet équilibre nécessite d'être réévalué constamment, en augmentant ou en abaissant la difficulté de la tâche considérée en fonction des performances mesurées. Grâce à ce concept, on peut penser le déploiement de l'expérience interactive comme directement liée aux performances de l'utilisateur, la rendant alors parfaitement adaptative.

Dans notre cas et en considérant l'expérience du danseur médian, l'expérience optimale pourrait a priori être atteinte plus aisément si les degrés de contrôle de mon partenaire et moi sur notre objet co-manipulé étaient idéals, nous permettant d'être pleinement engagés gestuellement l'un avec l'autre malgré nos éventuelles capacités expressives différentes.

Je propose pour cela de considérer l'idée de performance individuelle du Flow à travers les outils de mesure des qualités gestuelles individuelles utilisés plus tôt, à travers notamment la notion subjective d'expressivité.

Le modèle du Flow se transposerait alors en celui d'un « médian idéal » de la manière suivante (Fig. 114).

Sur ce graphique, je propose de représenter en abscisse la richesse du mouvement de l'utilisateur au cours du temps (le moins expressif étant à gauche). En ordonnée, on peut y voir le facteur d'influence sur le médian (la quantité d'imitation) osciller entre ses deux valeurs extrêmes. Une valeur à -1 équivaut à une imitation totale du mouvement de l'utilisateur, tandis qu'une valeur à 1 équivaut à une complète autonomie.

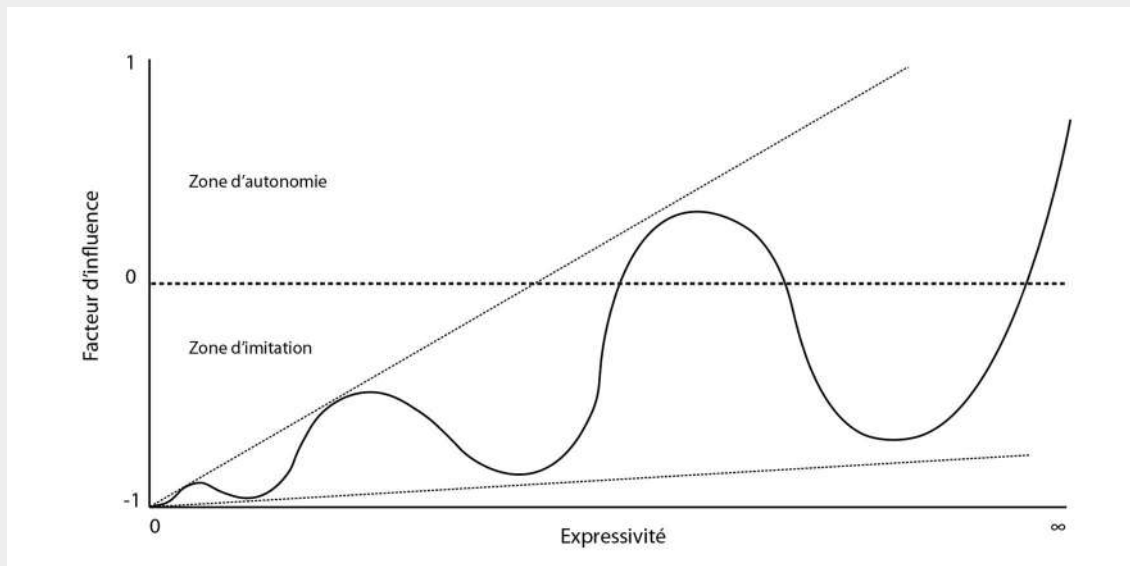


Fig. 114 • Influence du mouvement du danseur médian sur un participant

Ce graphique explique basiquement deux choses :

- La première phase joue le rôle de tutoriel et de mise à l'aise : dans un premier temps on donne un contrôle total sur l'objet d'interaction, afin de permettre à l'utilisateur de prendre conscience de son agentivité. C'est la phase où il se saisit des règles de l'expérience.
- Ensuite, plus son expressivité augmente, plus on lui rend la tâche plus originale, en augmentant l'autonomie du médian et en favorisant ainsi la rencontre avec le partenaire.

En ayant recours à un tel modèle pour mon partenaire et moi, on pourrait chacun converger progressivement vers notre point d'équilibre et interagir ensemble avec une quantité optimale de contrôle.

Il sera alors tout à fait envisageable de trouver ce point d'équilibre ailleurs qu'au point central (50/50), et celui-ci pourra également fluctuer au cours du temps.

3.8.7 • Construction d'un partenaire virtuel évolutif et retours d'expérience

Cette dernière étape consistera en une implémentation du modèle précédent, et au développement d'un prototype de « partenaire virtuel ».

Sans imaginer égaler la richesse expressive pouvant être obtenue au cours d'un échange improvisé entre deux participants, l'idée est de toucher ici du doigt le potentiel expérientiel d'une entité ainsi composée d'un mélange dynamique entre une séquence de mouvement pré-enregistrée et celle de l'immersant.

Je souhaite y observer les effets de ce degré de contrôle adaptatif, usant à cette occasion de mon outil de mesure de l'expressivité, intégré au sein d'une fonction sinusoïdale.

La scène développée reste simple et nous plonge face aux trois sphères du danseur médian, nous dotant pour le coup des simples sphères blanches d'Articulations (Fig. 115).

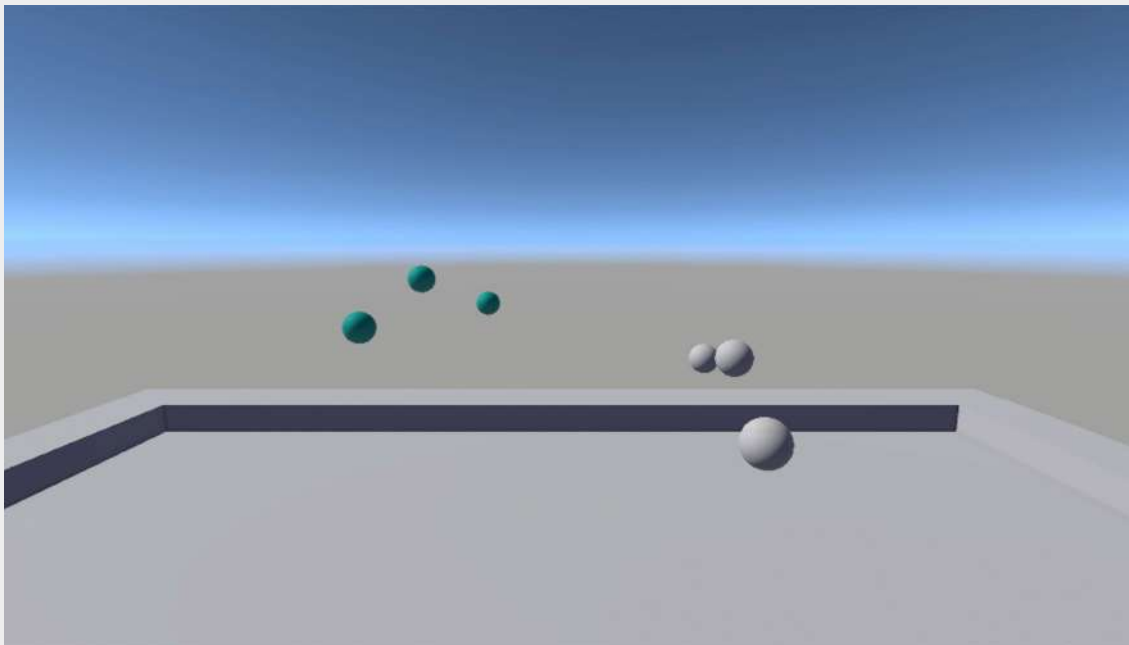


Fig. 115 · Vue à la troisième personne d'un participant (en blanc) face au partenaire virtuel (en vert)
Ce dernier peut copier au choix les mouvements du participant ou ceux
d'une séquence de mouvement pré-enregistrée

Dès le démarrage de la scène, le contrôle sur le médian est total, car rien dans notre mouvement n'a pu jusqu'ici être analysé. Après quelques gestes échangés, ce dernier diverge et commence à nous ignorer. Instinctivement, l'attention se fait plus aiguë face à ce contrôle qui nous échappe et je me surprends à explorer diverses astuces pour retrouver la maîtrise de ces sphères étrangères.

Les premières phases de test en immersion sont concluantes et je me surprends moi-même à oublier le fonctionnement de ces étranges sphères vertes.

Après un certain temps d'exploration pourtant, le caractère oscillant décrit précédemment me devient évident et mon mouvement devient davantage un outil pour mesurer cette quantité d'imitation effective.

La limitation principale de ce concept vient évidemment de son aspect linéaire et du fait qu'à aucun moment la séquence de mouvement pré-enregistrée n'est réellement modulée par la situation et par mes propres actions.

L'imitation apparaît ici bien différente d'une coordination et le supposé partenaire s'apparente plutôt à une marionnette douée d'une forme de conscience propre. On aimerait pourtant la voir s'animer de gestes réellement contextualisés et provenant d'un narratif commun.

Tentant d'oublier mes propres biais de concepteur, ce prototype m'apparaît néanmoins prometteur et m'encourage à en poursuivre le développement en vue de phases de test ultérieures.

J'avais pu insister dans mon état de l'art sur l'importance de l'imitation et de la résistance pour faire apparaître la sensation d'une présence tierce, et cette idée trouve ici tout son sens. Lors du projet *Articulations*, nous avons justement remarqué que l'imitation et la coordination semblaient être des prérequis à l'initiation du rapport social, donnant à chacun la sensation d'être présent et reconnu au sein de l'environnement virtuel.

Tenter d'appliquer cette idée à d'éventuels contextes mono-utilisateur et doter une entité tierce de capacité d'imitation semblent ainsi tout indiqué pour créer une connexion et amener un utilisateur à progresser dans un parcours. Cette entité ayant de plus appris à refléter la subjectivité du designer de l'expérience, elle contribuera alors pleinement à affirmer ses partis pris esthétiques.

L'efficacité de ce système pourra néanmoins révéler tout son intérêt lorsqu'il sera confronté à des immersants n'en connaissant pas le principe et pouvant m'en formuler des retours non biaisés, ce qui pourra être le cas lors de workshops ultérieurs ou d'expériences artistiques issues de ce concept.

Les mécanismes de la SDR alliés à cette idée de danseur médian laissent définitivement envisager des parcours utilisateurs où les entités virtuelles seraient à la fois des guides assurant la bonne progression d'un scénario, mais joueraient aussi à co-construire un narratif avec l'utilisateur, en intégrant et encourageant son expressivité et sa créativité.

Tant pour des œuvres ludiques que pour des outils de création et de recherche, développer ces altérités apparaît un challenge aussi passionnant que pertinent, et trouve un écho à toutes les questions que nous avons développé jusqu'ici.

3.9 • Résumé du chapitre

Dans ce chapitre nous avons pu présenter une démarche de design conduisant au développement de deux expériences immersives et naturelles basées sur le mouvement intuitif.

Usant pour cela d'une méthode développée au cours du chapitre 2, nous avons dans un premier temps défini notre contexte d'étude, celui de la réalité diminuée partagée (SDR) à travers le projet *Articulations*. Passant ensuite en revue quelques performances de nos précédentes phases expérimentales, nous avons pu extraire certains critères d'évaluation propres au registre sensible qui les caractérise.

Ciblant l'expressivité individuelle et la cohésion du mouvement relationnel comme éléments de mesure de la qualité d'expérience, nous avons ensuite entrepris une démarche permettant de doter la machine d'outils pour les évaluer de manière autonome. Ces résultats nous ont finalement permis d'envisager la définition de multiples fonctionnalités adaptatives, lesquelles ont pu servir enfin de matériau pour le développement de nos prototypes conclusifs.

Les prototypes présentés dans ces dernières sections s'inspirent ainsi des mécaniques relationnelles observables en SDR, et proposent deux expériences sensibles basées sur le geste intuitif, le partenaire étant ici représenté par deux formes interactives hybrides et multimodales.

Au sein du premier prototype *Affective Landscapes*, nous avons pu explorer l'interaction ambiante et implicite en amenant l'utilisateur à bouger au sein de différents paysages réagissant à son activité corporelle.

Les différentes scènes s'y développent de manière semi-automatisée, invitant l'immersant à porter sa conscience au-delà de ses propres limites physiques. Il est littéralement connecté à ce qui l'entoure, influant simultanément sur de multiples paramètres, sans pour autant en être en totale maîtrise ou conscience. Il explore ainsi de manière intuitive la richesse expressive de son propre mouvement, et se laisse porter par les relationnalités qu'il tisse au gré des envies et du hasard.

Le second prototype issu du danseur médian est plus explicite et en inspiration directe des mécanismes d'engagement décrits en introduction de ce manuscrit. Il propose une relation avec l'interface inspirée de la constante fluctuation entre contrôle et dérive qui caractérise les activités d'improvisation partagée et les phénomènes de Flow de groupe.

Le système adaptatif développé permettant à l'utilisateur de créer un rapport d'altérité évolutif avec l'interface, porté sur l'imitation dans un premier temps, puis évoluant progressivement vers une forme plus originale. L'utilisateur et l'entité virtuelle sont ainsi amenés à chacun emprunter les dynamiques gestuelles de l'autre, et à composer finalement ensemble une représentation commune.

Si ces deux expériences sont à éprouver seul, leurs principes sont définitivement applicables à des expériences collaboratives et trouveront très certainement tout leur sens sous cette forme. Néanmoins dans ces deux cas, l'immersant se voit proposer des expériences intuitives en étant dépourvu de consignes. Il construit du sens de ces scènes immersives par le retour direct qu'il produit sur elles. Les environnements virtuels et les corps perçus portent également en eux les seules affordances présentes, et c'est par leurs altérations minutieuses que les stratégies d'action se fondent et se développent chez lui.

Nous faisons ici le choix d'explorer l'incitation et la suscitation comme dynamiques interactives, invitant à la recherche de justesse dans le mouvement et privilégiant l'expérience esthétique à l'accomplissement de tâches spécifiques. Ces principes peuvent pour autant et bien entendu être ré-appliqués à des expériences aux finalités bien déterminées⁴⁵.

Ces pistes de design ouvrent ainsi à des parcours d'expériences uniques et profondément personnalisés, tout en les dotant d'une part d'imprévu favorisant la prise de risque et la sérendipité. L'humain y est considéré tant dans sa capacité à raisonner et organiser l'information, mais aussi à la ressentir, et à improviser avec elle dans un espace qui n'est pas entièrement raisonnable.

Impliquer ces relationnalités diverses au sein des interfaces naturelles, et user pour cela de notre méthode ainsi que de nos principes expérimentaux basés sur la pratique, semblent à ce titre cohérents pour la conception de langages qui résonnent avec les potentiels décrits en introduction de ce manuscrit.

Ce travail comporte évidemment quelques limites et nécessite d'être poursuivi de plusieurs manières, sur lesquelles nous reviendrons dans le prochain chapitre conclusif.

45 Un guide oscillant entre séquences gestuelles propres et imitation des dynamiques de l'utilisateur pourrait par exemple s'avérer pertinent pour l'amener à accomplir une tâche, tandis qu'un environnement évolutif pourrait focaliser l'attention sur des éléments précis ou induire des états cognitifs particuliers lors de phases capitales de l'expérience.

3.

**Des descripteurs
de geste sensible pour le
développement de langages
naturels en médiation spatiale**

Geste improvisé et interfaces naturelles

**Vers de nouveaux fondamentaux
pour le design d'expériences optimales
en médiations immersives**

4.

Conclusions

4.1 • Résumé du parcours

4.1.1 • Des contextes multiples

Nous initierons cette phase conclusive en tentant tout d'abord un résumé de la démarche entreprise, pour y décrire ce cheminement à travers lequel nous avons pu voir un objet de recherche évoluer de manière significative, au gré des différentes rencontres et expérimentations.

Prenant corps dans un contexte particulier, en mêlant d'une part l'écosystème de l'agence EMOTIC et d'autre part les environnements académiques et artistiques d'Ensadlab et de l'équipe du projet *Articulations*, cette recherche aura mené plusieurs explorations conjuguées : celle du langage interactif intuitif – en questionnant par exemple les mécanismes cognitifs de motivation et d'improvisation ainsi que celle des nouveaux fondamentaux des interfaces immersives naturelles – en discutant des enjeux et potentiels expérientiels de ces récentes avancées technologiques.

À travers une succession de rencontres, de sessions de co-conception, de workshops et de phases expérimentales, des approches pratiques et sensibles se sont conjuguées, et l'ancrage théorique put se lier aux intuitions et à un « ressenti » direct. C'est justement l'avantage d'une recherche par la pratique en design qui, parce qu'elle impose ces changements de perspective et un dialogue constants entre arts, sciences humaines, et monde industriel, peut produire finalement des artefacts innovants et originaux (Fallman, 2008).

Cet objet de recherche a ainsi pu évoluer vers une forme plus personnelle dont le témoignage s'avérerait limité à n'être décrit que par les mots, requérant finalement des contributions privilégiant l'expérience et conduisant à la production de plusieurs preuves de concept. Ce manuscrit ne saurait donc être pris comme seule contribution à ce travail recherche, et plusieurs expériences seront données à manipuler lors de la future soutenance de cette thèse.

Ce projet de thèse propose ainsi plusieurs contributions dont les formats (entretiens, jeux, méthodes, expériences interactives) sont aussi divers que les contextes qui les ont forgées, et sur lesquelles nous allons revenir maintenant.

4.1.2 • Un besoin de langage commun

Observée à la fois sous les prismes industriels et académiques, la question de l'adaptativité dans l'interaction Humain/Machine a d'abord été abordée de manière théorique, en invoquant et rapprochant des littératures en cognition et en design. Nous avons alors pu définir une sorte d'idéal des interfaces dites naturelles, où celles-ci s'avéreraient capables d'improviser avec un individu et de calquer les mécanismes inter-adaptatifs qui régissent nos interactions sociales quotidiennes.

Cet idéal a cependant rapidement soulevé la complexité majeure du langage intuitif, celui-ci implique en effet de nombreuses boucles sensori-motrices qui œuvrent en simultanée, et dont le sens produit est indissociable de l'histoire de l'individu considéré.

Cette constatation rendit alors impossible d'aborder notre problématique de front.

Nous avons alors développé notre approche expérimentale en envisageant à travers une recherche par la pratique en design centrée autour de trois idées centrales : la *multimodalité* interactive comme « essence » du langage naturel en immersion, la *friction* au sens d'un

contrôle fluctuant et décisif à l'engagement, et l'*altérité* comme condition pour permettre l'apparition de mécanismes d'adaptation et d'imitation.

En engageant directement dans la recherche les experts des environnements industriels, académiques et artistiques qui en assurent le cadre, ces trois idées ont premièrement été abordées à travers deux axes pratiques et ancrés. D'une part, nous avons entamé le recueil de témoignages d'experts de l'improvisation, identifiant leurs stratégies de mise en mouvement et leurs sensibilités aux questions du corps, de l'environnement et de la relation à l'autre. D'autre part, nous avons abordé la question des interfaces souples sous un angle de design d'expérience, formalisant les contours théoriques d'une expérience adaptative, et identifiant les nombreux canaux interactifs adressables ainsi que leurs éventuelles influences sur la qualité d'expérience. Nous en avons finalement fait ressortir le besoin de se doter d'outils sur-mesure afin de cadrer ce type de conception de manière efficiente.

Ces deux approches nous ont finalement permis de constater la proximité manifeste entre les différents environnements qui encadrent cette recherche, leur reconnaissant comme pivots mutuels l'engagement et la construction de sens à travers l'interaction.

4.1.3 • Co-construire nos outils de recherche

Poursuivant la recherche sur ces bases, nous avons abordé ensuite deux phases de co-conception itérative, toujours en collaboration étroite avec nos différents écosystèmes.

Incluant d'une part danseurs et chercheurs, nous avons développé dans le cadre du projet Articulations une installation expérimentale en réalité virtuelle, questionnant le geste intuitif des participants comme seule modalité interactive, et supprimant toutes les autres variables pouvant nuancer et influencer la relation. Nous avons pu y étudier la construction de sens en immersion, et l'influence de l'environnement et des corps perçus sur les stratégies de mise en mouvement. Formalisant nos conclusions de design autour du concept de réalité diminuée partagée (SDR), nous avons pu également extraire un certain nombre de données quantitatives et qualitatives dont sont tirées deux publications, et poursuivre notre démarche de recherche-création à travers l'organisation de plusieurs événements artistiques et scientifiques.

Incluant d'autre part les experts en design numérique de l'écosystème de l'agence EMOTIC, deux outils de conception furent développés, permettant d'aborder la conception d'interfaces adaptatives ancrées à un contexte expérientiel donné. Celles-ci invitent à comprendre la phénoménologie de l'expérience du point de vue des utilisateurs impliqués, pour en définir finalement les adaptations numériques susceptibles de faire le plus de sens pour eux et d'améliorer *in fine* la qualité d'expérience globale.

Ces deux volets expérimentaux sont donc partis d'une même question, ont emprunté des pistes aux vocabulaires et écosystèmes bien différents, mais se retrouvent finalement parfaitement complémentaires pour le développement de notre troisième chapitre.

4.1.4 • L'emploi de ces outils pour la concrétisation de deux formes d'interfaces naturelles sensibles

Tirant profit des précédents outils et données accumulées, le troisième chapitre de ce manuscrit trouve son point d'équilibre à travers une démarche centrée sur ma propre subjectivité de designer. Le pronom « je » y est alors employé, détaillant l'ensemble de ce cheminement à travers le prisme de mon propre point de vue et de ma propre sensibilité.

Cette démarche vise à présenter l'ensemble d'un processus de conception, rendu possible par la trame proposée dans le chapitre précédent, et prenant comme socle les observations et données récoltées dans le cadre du projet *Articulations*.

Fidèle à la logique décrite dans cette trame, j'ai pris un temps d'abord pour comprendre d'un œil extérieur ce qui se jouait dans le mouvement relationnel en SDR. À travers le visionnage des performances collectées, j'ai fait ressortir des métriques propres à ce même contexte, identifiant l'expressivité individuelle et la cohésion du mouvement relationnel comme les critères d'évaluation les plus pertinents pour mesurer la qualité d'expérience.

De ces observations j'ai ensuite entrepris un travail consistant à entraîner la machine à « ressentir » ces qualités de mouvements, et à relier cette perception à des adaptations visuelles et immersives diverses.

Employant alors les modèles développés à une utilisation en temps réel, j'ai finalement décrit le développement de plusieurs expériences immersives invitant à la mise en mouvement, et cherchant par l'interaction à faire prendre conscience aux immersants de la richesse des mouvements de leurs corps. Les deux expériences principales décrites sont un écho direct aux trois axes proposés en fin de chapitre 1, la *multimodalité*, la *friction* et l'*altérité*.

Au sein de l'expérience *Affective Landscapes*, j'explore plutôt cette première idée, voyant évoluer en immersion notre rapport au temps, à l'espace, à notre propre incarnation et à notre agentivité au sein de différents paysages qui ne se développent que par notre volonté d'y bouger. Du fait du caractère abstrait et multimodal de la relation entre geste et réaction environnementale, l'expérience invite ainsi au « moins bouger » plutôt qu'à l'intense et au désordonné. J'aspire à y favoriser l'écoute attentive des réactions, et l'appropriation progressive des règles de ces espaces affectifs.

Au sein de l'expérience du *Danseur médian*, j'explore plutôt l'altérité et la friction. Inspirée du modèle du Flow, une entité virtuelle y est matérialisée face à l'utilisateur et alterne entre une imitation de ses gestes et une autonomie totale. L'expérience proposée oscille ainsi entre contrôle et dérive, en phase avec les mécanismes de l'improvisation dansée et les diverses influences qui ont nourri le développement de ce manuscrit.

Ces deux approches apportent donc quelques témoignages de ce qui est ressorti au cours de ces différentes phases de recherche, et qui constituent une approche cohérente du langage naturel en immersion : développer un rapport à la fois ambiant et social avec l'espace et la matière numérique, au-delà de l'individu et de ses limites physiques, mais laissant néanmoins une place prépondérante à sa sensibilité, à son imaginaire et à sa créativité.

4.2 • Contributions à destination des designers d'expérience

Si ce manuscrit aura vu alterner contributions artistiques et théoriques au sein d'un écosystème résolument multidisciplinaire, détaillons à présent certaines d'entre elles et insistons notamment sur leurs apports pour le monde du design d'expériences numériques.

4.2.1 • Méthode de conception / jeu de cartes

La méthode de conception développée avec les experts de l'agence EMOTIC a été pensée avant tout pour faciliter la conception de langages interactifs naturels. Celle-ci est transposable à tous les types d'interfaces numériques (mobile, web, phygiales, immersives) et amène les concepteurs à se baser avant tout sur ce qui est directement observable. Elle s'assure ainsi que toute adaptation performée par la machine se fonde sur un contexte expérientiel bien identifié.

Dans notre cas et dans le contexte particulier de la SDR, elle aura permis de focaliser l'attention sur le caractère intuitif et sensible de nos appréciations du mouvement minimaliste, conduisant à définir la problématique centrale de notre troisième chapitre : comment doter la machine d'une capacité à apprécier les qualités expressives et relationnelles du mouvement.

Cet outil facilite donc d'une part la conception, en forçant à focaliser la réflexion sur le ressenti des individus, mais stimule également l'innovation en mettant en évidence le besoin de se doter de nouvelles mesures pour évaluer l'action et la qualité d'une expérience donnée.

Pour ces différentes raisons, il paraît justifié d'encourager le réemploi de ce processus de conception, et de le réadapter à tous les contextes pouvant profiter d'une adaptativité du langage interactif.

4.2.2 • L'ajout de métriques sensibles dans le design d'expérience

Nous avons également décrit les différentes phases de développement de trois modèles algorithmiques dédiés à la mesure des qualités propres du mouvement en SDR. Ces trois problèmes ont été focalisés l'un sur l'expressivité individuelle, et les deux autres sur les qualités relationnelles des expériences immersives.

Si les choix techniques et les résultats des modèles entraînés doivent être évalués au regard du contexte expérientiel donné - lequel est avant tout dédié à favoriser l'exploration gestuelle - les résultats obtenus ont permis d'en envisager les applications à des expériences temps réel, démontrant qu'il est possible de transformer des qualificatifs intuitifs pour l'œil humain en paramètres tangibles pour la machine.

L'approche suivie dans tout ce processus peut pour autant être réutilisée et se voir appliquée à tous types d'expériences interactives.

Pour ce faire, l'ensemble du cheminement technique peut être réadapté :

- Les descripteurs de geste ont été choisis pour leurs caractères explicites et « complets ». Ils tiennent compte de nombreuses dimensions géométriques, dynamiques et sensibles des mouvements du corps (réduit ici à trois points, la tête et les deux mains), et les réemployer tels quels ne semble donc pas a priori contre-indiqué. Il peut être néanmoins intéressant de songer à l'intégration de descripteurs extérieurs, représentatifs de la relation entre l'utilisateur et son environnement ou partenaires d'interaction, ou bien propres aux tâches en cours d'exécution.

- Les fonctions de calcul et d'entraînement furent elles aussi pensées pour s'adapter facilement à de nouveaux besoins. Elles peuvent être réutilisées telles quelles, mais peuvent également être agrémentées de nouvelles fonctions de calculs, plus adaptées aux nouvelles données cibles et à des sélections de descripteurs différentes.
- La tâche majeure à exécuter est finalement celle consistant à reproduire les phases d'observation et d'étiquetage, nécessitant d'une part de collecter des séquences de données représentatives de l'expérience considérée, d'en identifier les métriques les plus parlantes, puis d'évaluer chaque échantillon au regard de ces nouvelles métriques.

En plus de doter la machine de capacités d'analyses plus fines d'une situation, ce processus d'apprentissage trouve plusieurs intérêts.

Fidèle à la méthode de conception qu'il suit, il invite à se baser avant tout sur l'existant et l'observable, garantissant ainsi que toute réponse adaptative formulée puisse l'être sur une base de sens commun et un registre expressif naturel.

Il invite également à se questionner, à travers un angle mêlant psychologie cognitive et réflexion esthétique, sur ce que le mouvement observé révèle de l'état d'une tâche en cours ou d'un événement relationnel particulier.

À la fin du travail itératif mêlant optimisation et sélection des paramètres les plus performants, certains descripteurs ressortent naturellement comme les plus à même de se joindre aux moteurs prédictifs et baser une logique adaptative naturelle et multifactorielle.

Nous avons vu par exemple que certains descripteurs pouvaient influencer davantage que d'autres la prédiction des métriques expressives et relationnelles, me renseignant à titre personnel sur ma propre logique d'annotation. Nous avons vu également dans le cas particulier du mouvement relationnel comment l'ajout d'un élément intermédiaire, le danseur médian, pouvait améliorer les prédictions mesurant cette idée de cohésion.

Ce processus d'apprentissage itératif peut donc cadrer et stimuler l'innovation, en accompagnant les concepteurs dans l'étude phénoménologique de leur expérience, et dans la construction progressive d'un langage interactif dont la base reste leur propre regard et interprétation subjective.

Ainsi, au-delà de l'approche purement expérimentale de ce travail et de ses limitations identifiées, il semble possible de réitérer ce principe appliqué à de multiples usages, pour conduire à la conception de langages interactifs uniques et calibrés à tous types de contextes.

4.2.3 • Vers l'intégration programmatique du designer improvisant dans l'expérience

Dans la continuité directe du point précédent, il semble également important d'insister sur la pertinence du positionnement consistant à ne laisser qu'une seule personne s'occuper de l'étiquetage en vue de l'apprentissage à venir, spécialement lorsque les données évaluées sont sujettes à l'appréciation sensible et aux biais d'interprétation.

La subjectivité n'y est en aucun cas un défaut, au contraire, elle trouve ici deux intérêts majeurs.

D'une part, elle garantit un minimum de cohérence dans l'ensemble des annotations sur lesquelles se basera l'apprentissage, et donc une cohérence dans les comportements des modèles neuronaux. Sans en faire une preuve scientifique, nous avons vu au cours d'un

exercice d'annotation comparée que l'interprétation moyenne du mouvement minimaliste tendait davantage vers le bruit, à mesure qu'on y incluait de nouveaux participants et de nouvelles mesures. À moins d'avoir à évaluer une tâche évidente ou d'obtenir un consensus préalable sur la réelle signification de la métrique envisagée, il semble à ce titre plus pertinent de n'engager la subjectivité que d'une seule personne, et obtenir ainsi une dynamique plus expressive dans les données d'apprentissage obtenues.

D'autre part, cette approche s'avère être un parti pris en design qu'il semble intéressant d'assumer. Que ce soit dans les prototypes de *Affective Landscapes* ou de *Danseur Médian*, l'outil de mesure de l'expressivité individuelle est mis à profit pour altérer l'expérience sur une base de critères qui proviennent d'une démarche d'évaluation intuitive. Cette intégration d'une appréciation propre du mouvement dote donc le système d'une logique générative plus en phase avec le caractère sensible des expériences proposées. Cette approche fait ainsi un lien fort avec tout l'historique des travaux et workshops communs où nous tentions d'apporter des modifications subtiles aux perceptions visuelles des participants immergés, cherchant à les accompagner, à encourager et enrichir leur mouvement sur la base de ce que l'expressivité de leurs corps laissait entrevoir.

En cherchant à amener la machine à imiter le designer, il devient envisageable d'y inscrire sa propre sensibilité, lui donnant alors une présence simulée lors de toutes ces immersions futures où des participants bougeront ensemble sans que ce dernier puisse les y accompagner.

Si cette approche se veut reproductible, il est clair qu'elle ne pourra atteindre des résultats identiques à chaque itération⁴⁶, incluant à chaque fois un processus d'évaluation personnel « performé » et dont les résultats se verront nécessairement fluctuants. Elle propose néanmoins un postulat conceptuel de design intéressant, imbriquant la sensibilité du chercheur d'une manière originale dans ses productions, et l'amenant à raffiner son approche pour la conception de futurs produits⁴⁷.

Pour ces deux raisons, il semble pertinent d'encourager à reproduire cette logique sur de nouveaux cas et de nouvelles formes interactives.

4.2.4 • Clés de design pour la mise en mouvement

Enfin nous listerons ici quelques clés décisives à l'engagement interactif. Si la plupart ont émergé du contexte de réalité diminuée partagée, certaines pourront néanmoins être généralisées à d'autres types d'expériences mono et multi-utilisateur.

46 Ce n'est d'ailleurs pas son but et c'est même tout son intérêt, une recherche par le design peut apporter des clés pour reproduire un processus de conception, mais à aucun moment elle ne promet que ce processus conduise à des résultats similaires. Plutôt qu'à un « universel », elle conduit à la réalisation « d'ultimes particuliers » (Stolterman, 2008 ; Zimmerman & Forlizzi, 2014)

47 Dans mon cas, le besoin de dissocier les interactions explicites et implicites s'est révélé suite à l'observation d'utilisateurs immergés dans mes dispositifs d'étude. Cette observation a directement inspiré le développement de mes deux expériences artistiques conclusives.

De plus, lors de la phase d'apprentissage machine rapportée en section 3-6, j'ai pu comprendre que j'avais tendance à noter l'expressivité gestuelle à partir des variations des mouvements verticaux et non des dynamiques gestuelles. Ce type d'informations et les auto-analyses qui en découlent sont inspirantes et me permettent aujourd'hui d'identifier ce qui sera déterminant dans un design d'interactions invitant à la mise en mouvement.

De la spécification au mouvement créatif

Une idée propre à la mise en mouvement en immersion est apparue au cours de ce manuscrit comme celle de la complémentarité entre mouvement nécessaire et mouvement créatif.

Le premier intervient dans les premières secondes de l'immersion, lorsque les enveloppes corporelles apparaissent avec leurs lots de questions. Le mouvement y est nécessaire car il joue un rôle de spécificateur, aidant l'utilisateur à comprendre ce qu'il est en droit et en capacité de faire de son corps perçu.

Lorsque les règles interactives commencent à être comprises, le mouvement peut alors se développer comme un outil d'expression et d'interaction avec le monde environnant, trouvant sa forme créative en permettant de créer du lien avec lui.

Pour être sûr que cette deuxième phase puisse être correctement amorcée, il apparaît donc nécessaire qu'un temps ait été dédié à la première, pour que l'utilisateur puisse apprécier sa propre agentivité et se diriger ensuite vers le cœur d'interaction de l'expérience.

Pour repérer programmatiquement le passage de cette première phase vers la seconde, nous pouvons préconiser une mesure de l'expressivité du mouvement, celle-ci étant susceptible de renseigner sur l'aisance de l'utilisateur et l'emprise qu'il a sur son expérience. Ajouter une métrique cherchant à comprendre où se porte son attention, que celle-ci soit dirigée vers lui-même ou vers l'environnement, peut également s'avérer particulièrement intéressant.

Trois pivots pour la conception de langages interactifs naturels favorisent l'acte créatif et l'expérience optimale.

Lorsque l'individu se retrouve spécifié en immersion, la question de son engagement repose sur plusieurs logiques. Nous avons vu que toute expérience intrinsèquement motivante nécessite de trouver un équilibre entre l'autonomie laissée à l'utilisateur, le contrôle qu'il a sur l'expérience, et l'appartenance qu'il noue à un éventuel environnement social.

Nous avons vu également le besoin d'envisager une approche dynamique, calibrant continuellement les tâches demandées en lien avec le déroulement de l'activité. Cette approche vise à garantir l'atteinte possible d'une expérience optimale, telle qu'inspirée des concepts de *Flow* et de *Flow* de groupe.

Les trois thématiques d'adaptativité qui ont rythmé ce manuscrit, la *multimodalité*, la *friction* et l'*altérité*, se sont avérées complémentaires et inspirantes pour penser le développement interactif de nos prototypes.

L'idée de *multimodalité* intègre le principe que nous créons du sens en combinant de multiples informations, et que nous développons nos stratégies d'action en fonction de la perception que nous nous faisons d'une situation globale. Cette même situation s'évalue à travers tout le spectre cognitif, où raisonnements et émotions se mélangent. Ce constat impose de penser en simultané une adaptativité des qualités hédoniques de l'expérience, en les calibrant par exemple par rapport à l'expressivité ou le caractère perçu, mais également des qualités pragmatiques, basées plutôt sur l'étude de l'activité et des performances de l'utilisateur. Les interfaces naturelles doivent de toute évidence intégrer et s'adapter à l'aspect multidimensionnel du langage humain, et user des capacités des individus à simultanément raisonner et organiser l'information, mais également à la ressentir et à improviser avec.

L'idée de *friction* invite à doter l'expérience d'un déséquilibre structurel entre contrôle et dérive, et à maintenir volontairement l'utilisateur hors d'une totale maîtrise des comportements de l'interface.

Le degré d'autonomie de celle-ci doit trouver là aussi un sens par rapport à l'action en cours et au but recherché par ce déséquilibre, ce dernier pouvant par exemple encourager à l'exploration et à la proposition, ou entraîner l'utilisateur à mieux réaliser une action spécifique. Cette dérive doit donc offrir un challenge correctement calibré, en se réglant, comme le préconise le concept du *Flow*, à un niveau propre aux capacités de l'utilisateur à un instant T. Ce n'est qu'après avoir initié ce premier rapport que la balance dynamique pourra ensuite évoluer vers des niveaux d'exigence plus importants et déployer en même lieu la continuité de l'expérience.

L'*altérité* préconise de développer l'interaction dans un espace hybride où les limites entre humain et machine ne sont plus évidentes. Ne pas tomber dans les travers de l'anthropomorphisme amène justement un nouvel espace de possible, où les phénomènes de mimétique peuvent être observés mais où l'individu humain peut en même temps découvrir et explorer les particularités de sa nouvelle spécification.

Doté de nouvelles affordances à travers son corps perçu, et guidé par cet « autre » dont il partage les traits, l'utilisateur peut être amené à comprendre son agentivité au sein de l'environnement immersif et à maîtriser des tâches non implicites au sein de ce paradigme. Cette transposition des mécaniques sociales invite ainsi les utilisateurs à apprécier ces incarnations fantastiques d'une manière intuitive et incitative, alors même que les règles de la matière, du temps, et de l'espace peuvent être altérées à l'envie par les designers.

Ces trois idées peuvent donc constituer les piliers complémentaires d'une mise en mouvement implicite et intrinsèquement motivée en immersion, même si ces idées peuvent être étendues à de multiples autres formes et contextes interactifs.

De nouvelles frontières de la coprésence à repousser

Avec la récente démocratisation des outils de collaboration à distance nous avons appris à vivre à travers de nouveaux regards, ceux d'interlocuteurs obstrués par des interfaces de visio-conférence. Cette autre forme de réalité diminuée n'a pas recueilli toutes les faveurs escomptées, ne subvenant pas aux attentes des utilisateurs pour leur assurer une communication fluide.

L'expression du non-verbal s'y avère manquante, figeant les visages et les postures à travers des visualisations planes et limitatives.

À l'inverse, nous avons vu comment une relation pouvait apparaître vive et riche au sein de nos expériences immersives, opérée par le simple mouvement interrelationnel.

Sans préconiser la transposition de tous nos usages collaboratifs distanciés à travers des environnements numériques spatialisés, il me semble pertinent à plus d'un titre de plaider pour une adaptation de certains des principes entrevus précédemment :

- En intégrant de nouvelles manières de se percevoir mutuellement, nous pouvons faire émerger des formes de relationnalités inédites au sein de ces espaces d'échange. Par la modulation de nos enveloppes respectives, et en jouant sur leurs similarités comme sur leurs différenciations, nous pourrions induire des stratégies encourageant l'exploration, la collaboration et la fluidité des échanges.

- En trouvant des moyens sur-mesure⁴⁸ pour injecter nos mouvements intuitifs dans ces interfaces, nous pourrions renseigner davantage les autres participants et le système de nos états et caractères du moment, invitant ces derniers à réagir et à altérer de manière concordante leurs propres comportements.
- En mesurant enfin les qualités de nos relations sociales, par analyse de la mimétique ou des prises d'initiatives, nous pourrions amener les systèmes à réagir à ces nouvelles dimensions de la coprésence, la représentant au-delà des frontières corporelles et individuelles et laissant émerger ainsi de nouvelles affordances relationnelles.

Ces différentes pistes pourraient doter nos outils de communication et de collaboration de nouvelles fonctionnalités déterminantes sur la qualité de nos échanges, sur nos volontés d'engagement et de mise en mouvement, des résultats obtenus sur ces tâches collaboratives et sur les qualités générales des expériences vécues.

Le numérique deviendrait alors bien plus qu'une interface distanciante, et laisserait se découvrir de nouveaux espaces à conquérir où sein desquels nous pourrions certainement apprendre davantage sur nous-même.

4.2.5 • Prochaines étapes

Ce parcours de thèse aura vu se développer de nombreuses questions aux frontières des sciences cognitives et du design d'expériences. Certaines sont toujours au cœur de plusieurs travaux et continuent de s'étoffer, parmi lesquelles :

- Comment la SDR peut-elle nous permettre d'en apprendre davantage sur les mécanismes d'inter-adaptation sociaux ?

Le projet Articulations est toujours actif et entame sa dernière année au sein de l'EUR Artec. De prochaines phases expérimentales en partenariat avec l'Université de Nanterre sont prévues. Un protocole avait déjà été développé avant la crise sanitaire, inspiré du *Mirror Game* de Noy et al. (2015) et étudiant les rapports de guideur/guidé au sein d'une tâche d'imitation entre deux personnes. Cette expérimentation visera entre autres à décliner le principe du jeu original dans un contexte de réalité diminuée partagée.

Différents workshops sont également prévus courant de l'année 2022. Le danseur médian y sera mis à l'honneur et l'attention sera particulièrement focalisée sur les idées de contrôle symétrique/asymétrique et leurs influences sur l'engagement avec le partenaire.

Le travail d'annotations des performances sera enfin poursuivi, nous envisageons d'ailleurs de l'aborder sous deux angles, l'un directement en immersion - pour être au cœur de la scène et ainsi mieux l'appréhender - et l'autre à travers une interface web, permettant ainsi de toucher plus de participants et d'accumuler plus de données exploitables.

- L'expressivité gestuelle d'un utilisateur peut-elle à elle seule piloter les adaptations comportementales d'un guide virtuel ? Quel impact une telle relation peut-elle avoir sur la volonté de mise en mouvement ?

48 L'adaptatif et le sur-mesure s'avèrent être en effet des voies possibles pour répondre à des problématiques de design « universel ». D'autres branches du design adressent également cette idée, voir par exemple les travaux en design textile de Jeanne Vicérial, docteure SACRe-EnsadLab, 2019.

A travers nos explorations d'interactions implicites et explicites, nous avons pu voir se dessiner les contours de nouvelles formes d'interfaces partenaires. Qu'il soit diffus dans l'environnement ou prenant les traits et les gestes explicites de l'utilisateur, cet « autre » numérique influe sur l'attention, les stratégies, et les actions de ce dernier.

Penser la présence d'un tel guide virtuel contextualisée à l'activité non verbale et notamment à l'expressivité gestuelle de l'utilisateur est une question qui continuera à être poursuivie, et dont seront tirées quelques expériences interactives en vue de la soutenance de cette thèse.

- Comment enrichir les modèles d'apprentissage d'autres qualités implicites et subjectives du geste ? Cette approche peut-elle être décisive sur la qualité d'expériences « à enjeux » ?

Comme précisé dans la section 3-6, plusieurs pistes ont été identifiées pour améliorer chacun des modèles algorithmiques, en prenant par exemple des fenêtres temporelles plus larges, ou en rajoutant et modifiant la liste des descripteurs de gestes qu'ils utilisent.

L'ensemble du cheminement expérimental de ce troisième chapitre mériterait à être appliqué à de nouvelles formes d'expériences numériques, proposant des contextes différents et à fortiori des identités gestuelles nouvelles. Si c'est davantage le caractère hédonique de l'expérience et l'immersion qui ont été travaillés au cours de cette étude, cette méthode a été conçue initialement pour s'appliquer à toute forme d'expérience numérique adaptative (design d'interfaces vocales, EEG, tangibles et tactiles). Elle trouvera ainsi tout son sens en œuvrant à la reconnaissance de nouvelles métriques issues d'expériences plus fonctionnelles.

4.3 • Discussions

4.3.1 • Impacts technologiques et cadre éthique

Nous discuterons ici d'un ordre plus général de la manière dont ce travail de recherche s'insère dans un contexte complexe, dans lequel le designer numérique se doit de prendre position.

Que ce soit par le détournement d'informations sensibles à des fins commerciales, par l'usage des neurosciences pour le développement de l'addictivité des produits, ou par l'usage du langage naturel à des fins d'automatisation et du remplacement des interlocuteurs humains, les technologies modernes ont une fâcheuse tendance à faire fi de certains principes moraux au profit de l'absolue liberté de consommation.

Nous l'avons rappelé plus tôt, l'idée d'allier les nouvelles technologies spatialisées à des algorithmes d'analyse du non-verbal laisse envisager des potentiels expérientiels incroyables, tant du point de vue de la recherche scientifique que de la production artistique et du divertissement. Le revers de la médaille est que ces outils ne sont bien sûr pas exemptés de se voir appliqués au-delà du champ dans lequel ils ont été pensés. Quelques dérives potentielles sont à anticiper et nous invitent ici à la discussion à travers ces quelques lignes.

Nous avons par exemple également abordé une réflexion inspirée du concept de Flow et de l'idée d'expérience optimale, proposant d'en réutiliser les modèles à des fins de conceptions de parcours utilisateurs plus engageants et plus adaptés aux individualités impliquées.

La frontière entre engagement et addiction étant ténue et certainement subjective, il pourra s'avérer pertinent d'opérer un choix de grammaire particulier pour qualifier ces types d'expériences.

Beaucoup de métriques issues du monde du marketing, comme le temps de connexion ou la régularité des utilisations qualifient positivement une interaction sans pour autant prendre en compte le bien-être individuel. D'autres critères comme le confort d'utilisation ou les résultats obtenus sur certaines tâches sembleront dans notre cas plus adaptés.

On pourra de manière générale recourir à un questionnaire comme celui de l'AttrakDiff d'Hassenzahl, focalisant l'analyse de la qualité d'expérience sur des aspects d'attractivité, d'utilisabilité, de désirabilité, d'ergonomie et d'accessibilité (2003). Établir ces métriques en amont pourra de plus offrir aux designers quelques directions claires pour orienter leur conception numérique.

Du côté de l'analyse gestuelle, il devient de plus en plus aisé de collecter des informations sensibles et émotionnelles chez les utilisateurs. Si une simple caméra peut aujourd'hui améliorer l'interaction globale en y ajoutant certaines informations captées à travers l'activité corporelle, le faire à l'insu de l'utilisateur semble en revanche au-delà des limites morales que nous devons nous fixer pour un développement de produits grand public.

Pour garder un lien de confiance vis-à-vis des utilisateurs, nous nous devons de clarifier précisément l'usage des données captées, en les assurant du maintien de la confidentialité et de la sécurité de leur utilisation - en phase notamment avec les mesures de la RGPD (Kurtz, 2018 ; Barsocchi, 2020 ; Piras, 2020). Nous pourrions ici citer deux mouvements de pensée en design qui pourront proposer des cadres à l'emploi de ces données :

- Les Designers Éthiques, qui proposent des paramètres et méthodologies destinées à la conception numérique impliquant des intelligences artificielles (Porra et al., 2019 ; Ross, 2019 ; D'Aquin, 2018 ; Danaher, 2020 ; Felzmann, 2019).
- Le TechForGood, qui permet de reconsidérer le développement et l'adoption de ces technologies pour l'amélioration conjointe de la productivité et du bien-être en général (Bughin, 2019), (Magalhaes, 2020), (Michaël, 2019 ; Kreps, 2018).

Rappelons enfin que les effets d'une utilisation trop répétée des technologies immersives ne sont eux-mêmes pas encore bien connus, laissant planer quelques inquiétudes :

- Le cerveau semble s'accommoder rapidement des règles de ces mondes virtuels, au risque de requérir à posteriori un certain temps d'adaptation pour revenir à la normale. Le système moteur peut par exemple être temporairement troublé et observer quelques complications pour discerner correctement le numérique du physique⁴⁹.
- De la même manière et sur un plan psychologique, la réalité virtuelle semble provoquer des effets négatifs au sortir des expériences, certains parlant de « tristesse post-RV », de « gueule de bois RV »⁵⁰, voire exprimant des troubles dissociatifs et de déréalisation suite à

49 "I understood that the demo was over, but it was [as] if a lower level part of my mind couldn't exactly be sure. It gave me a very weird existential dread of my entire situation, and the only way I could get rid of that feeling was to walk around or touch things around me."

"Yeah, I think that brains needs to switch between VR mode and RL mode. I also think this is how we gradually become less sensitive to motion sickness in VR - the brain just learns to work with the new set of inputs.

This is a pretty good illustration of a similar effect: <https://www.youtube.com/watch?v=MFzDaBzBIL0>"

Plus de discussions à ce sujet sur le lien suivant :

https://www.reddit.com/r/Vive/comments/8tynss/brainhand_dissociation_after_vr_sessions/

50 "What stays is a strange feeling of sadness and disappointment when participating in the real world, usually on the same day," he wrote on the blogging platform Medium last month. "The sky seems less colorful and it just feels like I'm missing the 'magic' (for the lack of a better word). ... I feel deeply disturbed and often end up just sitting there, staring at a wall."

"My friend had a strong psychological effect after trying."

des utilisations prolongées. Ces derniers sont plus inquiétants car ils peuvent s'établir dans la durée.

Pour ces raisons il apparaît nécessaire de prendre un soin particulier à accompagner les utilisateurs dans leurs phases d'immersion et d'émersion, afin que celles-ci apparaissent les plus naturelles et douces possibles. On pourra prendre ici appui sur le modèle de Judith Guez qui préconise de penser l'immersion en réalité virtuelle comme une progression à travers plusieurs paliers, à l'image de la plongée sous-marine (Guez, 2015).

Enfin, nous pourrions nous interroger sur les possibles effets négatifs pouvant survenir suite à de trop nombreuses expériences dites transformatives. De multiples études et travaux artistiques se focalisent en effet sur la manière dont les environnements virtuels peuvent provoquer des changements positifs sur la psychologie, en ciblant particulièrement le Flow, la pleine conscience, l'émerveillement et les expériences de pic (Bryce-Yaden et al., 2017; Gaggioli et al., 2017; Kitson et Riecke, 2019). Là encore les risques restent méconnus et on pourra craindre l'apparition de certaines formes d'addiction ou de désensibilisation, ces expériences marquantes pouvant être reproduites à l'envie et sans réel contrôle.

4.3.2 • Applicabilité

Nous aurons tenu - avec l'agence EMOTIC et le groupe SpatialMedia de l'Ensadlab qui ont encadré cette recherche - à rester en phase avec la plupart des principes précédents. Nos productions et conclusions autour de l'adaptativité des interfaces peuvent ainsi être réutilisées partiellement ou entièrement à des fins de productions grand public. Parmi ces principes on pourra retrouver :

Une expérience focalisée sur le plaisir d'utilisation et la mise en mouvement

Que ce soit en travaillant sur les adaptations hédoniques et pragmatiques, les usages se veulent intuitifs et destinés à développer des qualités d'expériences qui placent l'individu et sa singularité au centre du parcours. Cette approche de la personnalisation est totalement dédiée à solliciter la motivation intrinsèque, en n'engageant les utilisateurs qu'à la hauteur de ce qu'ils s'estiment à même d'atteindre.

Par l'absence de consignes, on ne contraint finalement pas l'expérience au besoin d'atteindre un but quelconque, le temps d'exploration est ainsi à la libre disposition de l'immersant. De ce point de vue, les expériences proposées restent totalement respectueuses des individus qui les vivent.

Un langage interactif universel comme promesse d'une accessibilité pour tous

Penser le déploiement du parcours utilisateur en le basant sur l'expressivité gestuelle porte comme promesse l'idée qu'experts et non-experts peuvent chacun accéder à une interaction dont le niveau d'exigence est calqué sur leurs capacités à un instant T. Le fait que le langage corporel assume à lui seul une partie de l'interaction assure qu'aucun prérequis ne soit exigé chez eux. Ces derniers peuvent en effet bouger comme ils l'entendent et comprendre par ce même système ce qu'ils sont en droit et en capacité de faire. Par ailleurs, ces techniques ne

"I'd like to precise that he got this strong feeling only when removing the Rift and after"
<https://www.theatlantic.com/technology/archive/2016/12/post-vr-sadness/511232/>
<https://www.mtbs3d.com/phpBB/viewtopic.php?f=140&t=17753>
https://www.reddit.com/r/oculus/comments/4gz9ex/vr_hangover/

nécessitant aucune calibration préalable, elles peuvent offrir une prise en main et une sortie de l'expérience toutes deux immédiates.

Un usage de la technologie non-intrusive, temporaire et respectueuse de la vie privée

Prendre comme nous l'avons fait appui sur les simples informations de mouvement des mains et de la tête est d'un intérêt double. Cela permet d'une part d'engager rapidement les utilisateurs, sans nécessiter l'emploi de capteurs intrusifs ou malhonnêtes vis-à-vis à leurs réelles fonctions. D'autre part cela permet d'accéder à un ensemble d'informations sensibles qui permettent les adaptations naturelles tout en garantissant un respect de l'anonymat et l'impossibilité de réutiliser ultérieurement les données captées. L'expérience reste limitée à un lieu et à un instant, et ne dépasse pas le cadre de ce qui est rendu directement visible pour l'utilisateur.

Dans le cas des interfaces de réalité virtuelle, la présence de capteurs de mouvement sur les poignets ne trompe finalement pas sur leurs fonctions réelles, qui sont de capter les gestes performés et d'y formuler une réaction. Tant que l'anonymat est préservé, l'usage d'algorithmes d'apprentissage automatisé et pour l'extraction d'informations haut-niveau de l'activité corporelle ne semble pas déraisonnable.

De nombreux domaines d'application pourront enfin profiter de cette question de l'adaptativité naturelle, notamment :

- Les solutions de cours en ligne. Certaines profitent déjà de ces logiques adaptatives (*adaptive learning* et consolidation mémorielle) et voient leurs parcours d'apprentissage se reconfigurer à mesure que les élèves progressent, en ciblant spécifiquement les parties les plus lacunaires de leurs connaissances (voir Liyaun, 2020 ; Min, 2017 ; Vanbecelaere, 2020, et les sociétés Knewton⁵¹, Domoscio⁵², Woonoz⁵³, Duolingo⁵⁴). Alors que certaines de ces solutions cherchent également à maximiser le suivi pédagogique des tuteurs envers les élèves, instaurer une proximité et une relation de confiance s'avère complexe, encore plus en l'absence d'informations corporelles. L'idée d'intégrer d'une quelconque manière des interactions basées sur l'activité du corps pourrait s'avérer déterminante, celui-ci étant justement porteur d'indices renseignant sur l'aisance et la bonne transmission d'une idée.
- Les solutions aux contenus adaptatifs (*adaptive content*). Elles dotent les expériences de contenus sélectionnés en fonction du profil et du contexte qui englobe l'expérience (auto-complétion, suggestions personnalisées, recherche contextuelle, etc.). Si certaines grandes entreprises du web en sont les spécialistes, les méthodes et outils présentés dans ce manuscrit peuvent laisser envisager d'en étendre la logique à tous types d'applications grand public et ce, pour un coût de développement modéré.
- Les productions culturelles et de divertissement, dont les narrations adaptatives et éventuels challenges peuvent se penser eux aussi de manière adaptative, en changeant les parcours ou en adaptant la difficulté d'un jeu. De nombreux jeux vidéo et applications de *coaching*

51 <https://www.knewton.com/>

52 <https://domoscio.com/accueil/>

53 <https://www.woonoz.com/>

54 <https://fr.duolingo.com/>

personnel intègrent déjà cette idée - on pourra citer par exemple les programmes Runtastic⁵⁵, FIOw ou GuitarHero⁵⁶ qui rehaussent continuellement le challenge en fonction des capacités de l'utilisateur - mais l'idée d'intégrer là aussi des informations sensibles pourrait permettre de donner de nouvelles dimensionnalités à l'idée de « progresser » dans l'expérience.

- Les solutions de domotique, de *monitoring*, et d'IoT. Celles-ci travaillent et prennent leurs décisions de manière autonome, que ce soit pour proposer une forme d'assistance, comprendre comment optimiser certains paramètres contextuels, ou manœuvrer des produits aux variables plus complexes comme des véhicules autonomes (Akiki, 2018; Burggräf, 2019; Schuetz, 2020). Pour ces produits également une dimension concernant l'accessibilité et le plaisir d'utilisation pourrait être développée en intégrant une fois encore des informations sensibles.

- Les outils d'aide à la création. La question de l'adaptativité catalysatrice de créativité offre un challenge passionnant dans les milieux de la danse, de la création musicale, ou dans la modélisation 3D.

Les usages potentiels challengent donc toutes les relations qu'on noue aujourd'hui avec des dispositifs numériques. Pour autant, les seules formes adaptatives dignes d'intérêt seront celles qui répondront à un contexte expérientiel correctement identifié, et c'est à cette fin que plusieurs de nos contributions sont entièrement dédiées.

4.3.3 • Une recherche plus que personnelle

Quelques mots enfin pour conclure cette aventure de recherche-crédation, et mettre en perspective les impacts de la transdisciplinarité sur ce travail de recherche comme sur ma vie personnelle.

Tout au long de cette recherche j'aurais profité d'innombrables changements de perspectives et de langages, empruntant à chacun de mes écosystèmes différentes peaux et positionnements, dans la seule fin fut de rendre mon travail intelligible et pertinent aux yeux de ces personnes qui m'ont entouré.

Par cette déformation continue de mon objet de recherche, celui-ci a pu à plusieurs reprises me dépasser et s'imprégner de cette nature plurielle. Il en ressort je pense finalement une couleur originale, et bien plus riche que celle que je tentais de peindre en ses débuts.

Cette démarche à la frontière entre arts et sciences m'aura personnellement amené à constater l'infinie complexité de nos mécanismes intuitifs, et la déconcertante simplicité avec lesquels ils laissent émerger nos productions les plus créatives.

J'aurais questionné à de nombreuses reprises cette étrange idée qui consiste à amener la machine à comprendre ce qui chez l'humain se passe de mot. Et si j'ai encore quelques réticences à l'idée de chercher à déconstruire le mouvement créatif, j'aurais pris un goût certain à créer des outils pour l'encourager, le capturer, puis l'observer.

Prendre ce positionnement de designer numérique, à la fois créateur d'immatériel et architecte d'expériences invitant les corps à bouger aura été passionnant et impactant bien au-delà d'un simple contexte professionnel. Si cette démarche m'aura conduit à accepter

55 <https://www.runtastic.com/fr/>

56 <https://www.guitarhero.com/fr/game>

l'impossibilité manifeste d'incorporer complètement nos mécanismes sensibles dans ma démarche de design, elle m'aura permis de me mettre moi-même en mouvement et de me placer comme l'un des sujets de ma propre recherche.

Sans ça je ne pourrais ressortir ainsi conforté sur l'absolue nécessité de trouver dans la conception numérique un espace où les caractères singuliers et parfois déraisonnables des individus trouvent leur place. Nous sommes faits d'imprévu, d'impulsif et de hasardeux et ainsi doivent s'en ressentir nos outils, quitte à ce que ces caractères en deviennent les points d'orgue.

J'en conforte aussi la conviction que l'outil numérique ne doit pas outrepasser sa place d'assistant, en devenant interface intrusive ou humanoïde, mais être au contraire fidèle à ce qu'elle est en totale capacité de faire, proposer de nouveaux champs d'exploration du soi et de nos relations avec les autres.

Tant pour la pertinence scientifique que pour mieux trouver une justesse dans le propos défendu au sein de ce manuscrit, l'approche transdisciplinaire de la recherche-crédation se sera révélée comme un formidable challenge, dont je reste ainsi moi-même marqué tant dans ma pratique, que dans mes propres appréciations de mon corps et du monde.

4.

Conclusions

Geste improvisé et interfaces naturelles

**Vers de nouveaux fondamentaux
pour le design d'expériences optimales
en médiations immersives**



Annexes

Glossaire

Expérience sensible :

Utilisé selon le contexte au sens 1) d'une expérience interactive chargée de solliciter la sensibilité d'un utilisateur, de déclencher chez lui des émotions particulières ; ou 2) d'une expérience interactive dont les réactions sont liées aux fluctuations de l'environnement et de l'utilisateur, un système qui « ressent » à travers ses capteurs des *inputs* peu communs dans le champ de l'informatique traditionnelle (type clavier / souris).

Expérience souple / plastique :

Se dit d'une expérience numérique qui intègre des capacités de se reconfigurer d'elle-même en réaction à la survenue d'événements particuliers. Cette reconfiguration peut adresser les différents caractères hédoniques et/ou pragmatiques des produits numériques (voir section 1-3-3 - Que peut-on adapter?).

Expérience utilisateur (UX) :

Traite de la qualité du vécu de l'utilisateur dans des environnements numériques ou physiques. Elle s'appuie aussi bien sur l'utilisabilité (la « facilité d'usage » d'une interface) que sur l'impact émotionnel ressenti.

Interface Humain/Machine (IHM) :

Discipline englobant l'ensemble des aspects de la conception, de l'implémentation et de l'évaluation des systèmes informatiques interactifs. Le terme a été introduit par Carlisle (1976).

Interface utilisateur naturelle (NUI) :

Terme se référant à des interfaces humain/machine « invisibles », au sens où la contrainte technologique est minimisée. Un design naturel peut être considéré comme tel lorsqu'il se fonde sur ce en quoi l'utilisateur est déjà maître, en s'inspirant par exemple de ses modalités d'interactions quotidiennes (saisie, geste ou voix).

Langage ambiant :

Des modalités interactives dont l'information se retrouve dispersée dans l'espace. Celles-ci peuvent user des canaux auditifs ou visuels et engagent les capacités des utilisateurs à évoluer dans un environnement donné plutôt que sur un simple écran.

Langage machine :

Code informatique, plus ou moins bas niveau, destiné à l'automatisation de tâches et l'exécution d'algorithmes. Il est manipulé par les développeurs et n'est généralement ni accessible ni intelligible pour les utilisateurs finaux.

Parcours utilisateur :

Désigne l'ensemble des étapes qu'un utilisateur sera amené à travers au cours d'une expérience donnée. Ce parcours peut également intégrer les phases en amont (sollicitation, approche), ou en aval de l'interaction avec le produit (rappels, souvenirs).

Réalité Diminuée Partagée / *Shared Diminished Reality* (SDR) :

Cadre conceptuel englobant un certain nombre de choix de designs permettant d'amener des participants à interagir ensemble en réalité virtuelle, et de favoriser l'émergence de

comportements créatifs basés sur le simple mouvement intuitif. Ce terme ainsi que ces différents choix sont décrits en détail dans notre article Vuarnesson et al. (2021).

Réalité Mixte (XR):

Technologie qui associe des contenus virtuels au monde réel (hologrammes). A la différence de la réalité augmentée qui apporte des surcouches virtuelles au monde physique, la réalité mixte permet de gérer des couches intermédiaires et d'intégrer davantage les contenus aux environnements. Elle use pour cela d'une reconstruction de la topologie des lieux, permettant notamment de gérer l'occlusion partielle des objets virtuels.

Vallée de l'étrange :

Hypothèse proposée par Mori (1970) selon laquelle un physique ou un mouvement d'apparence humaine presque naturel, mais pas tout à fait, cause une réaction de rejet chez certains êtres humains.

Annexe I • Interviews des spécialistes de l'improvisation

Annexe I.1 • Sur leur rapport à la danse

Interrogés sur leur pratique de la danse et la place qu'elle tient dans leur vie, les interviewés lui offrent une place personnelle et active.

« J'improvise parfois sans l'avoir décidé à l'avance, toute seule chez moi »

« Je danse seule parfois pour relâcher la pression, je mets de la musique, je suis très musicale et rythmique »

« Je ne suis pas d'accord avec le fait qu'on improvise tout le temps, je sais quand je le fais et je sais quand je ne le fais pas »

L'improvisation a un sens profond pour ces personnes, en plus d'un exutoire c'est également une sorte d'enjeu à la libération de soi.

« L'espace social est trop régi par des codes sociaux, les espaces de pouvoir enferment, Il est nécessaire d'enlever le personnage social, les relations de pouvoir »

« Il n'y a pas un espace de vie sociale où c'est possible de retrouver ça, à part en boîte de nuit mais c'est tellement codifié également »

« La créativité entraîne la plasticité du cerveau, de l'adaptabilité, du jeu, garder un esprit d'enfant. »

Cette libération est pour certains à la fois un enjeu social et un enjeu à une sorte de recherche de vide, de simplicité, d'ancrage

« La relation de danse c'est le projet qu'il n'y ait rien d'autre »

« Le mot-clé est l'exploration, on veut rester sur le bateau de l'explorateur, s'arrêter un endroit, puis repartir, n'avoir aucun but »

« La chose n'est pas quelque chose qui nous échappe mais quelque chose dont on ne cherche pas à limiter le sens. Ça ne se ferme jamais, l'intention est là mais elle reste ouverte. On peut alors être totalement naïf et innocent au geste qui va suivre. On n'est absolument pas dans le raisonnement »

« Improviser naturellement c'est dur, quelqu'un pas à l'aise qui regarde beaucoup ça bloque »

Annexe I.2 • Sur la genèse de l'improvisation

Questionnés à propos de leur mise en condition avant d'aborder une phase d'improvisation, nos sujets nous racontent :

« La plus grande chose qu'on puisse se donner pour improviser c'est le silence intérieur et l'écoute, faire le vide »

« Pour ça on a besoin de lâcher prise, mettre la tête de côté pour s'abandonner à soi-même, certains réussissent d'autres pas »

Et quant à l'initiation du mouvement, pour une rencontre avec soi ou avec l'autre, on trouve de multiples sources d'inspiration, certaines assez symboliques et environnementales :

« Une musique passe, ça m'inspire et me met en mouvement »

« J'ai besoin d'un point de départ, ça peut être une émotion, de l'excitation, une envie d'extérioriser, d'évacuer »

« J'aime travailler dans les bois, avec des cours d'eau »

« Trouver le rythme et la qualité de l'environnement »

« Je pars d'une image fixe, qui passe, de la matière du béton, de tout ton environnement, de ce que tu ressens »

« Un mouvement très simple peut se transformer en un monde, partir de quelque chose que les gens connaissent très bien »

« On pourra trouver un infini à partir de conditions initiales minimalistes »

D'autres sont basées sur l'expression naturelle du corps et du caractère sur le moment :

« Il faut se laisser partir à la dérive, se mettre dans une posture dans laquelle on est à l'aise, et voir quel mouvement naturel se met en place, qu'est-ce qui va se déployer »

« Certains danseurs se laissent aller à des mouvements réflexes, le poids s'exprime beaucoup, on va vers l'instabilité »

« On doit oser aller là où on ne contrôle plus, c'est ton corps qui danse et non ta tête, il faut laisser s'impliquer le mouvement intuitif »

« Je suis très aérienne, dans la fluidité et la douceur, je suis ample. Quand j'ai besoin d'extérioriser ça va être tout le contraire. »

« Tu as un personnage tu dois l'assumer à fond, tu peux prendre du plaisir à être en décalage avec toi-même »

Enfin une des personnes nous partage une technique pour lancer le mouvement selon une routine personnelle :

« J'ai un rituel, basée sur les points cardinaux, sens anti horaire et le centre. 4 puis 5, le 5 étant le ciel »

« J'ai commencé à faire des exercices basés sur ces 4 directions, qu'est-ce que ça m'inspirait, les 4 éléments, qu'est-ce que ça évoque sur le plan physique. »

« Jouer sur l'espace, l'énergie, les niveaux (au sol, en l'air) »

Si une seconde personne est impliquée dans l'interaction dansée plusieurs postures peuvent être empruntées :

« Je vais d'abord être en position de recevoir. Me demander où est son centre (dans le cœur, dans le bassin...), quelle démarche il a. Quelle porte d'entrée j'utilise pour rentrer dans son univers et goûter à son territoire. »

« On peut dans un premier temps interagir en miroir »

« Mon travail est de mettre la personne en confiance pour qu'elle se sente vue/reconnue. Si je la connais je vais être plus rentre-dedans »

Annexe I.3 • l'évolution de l'expérience

Pour garder ensuite chaque danseur impliqué, les personnes ont des besoins et attentes clairs.

« Plus le matériau est simple plus ça garde mon attention »

Concernant le rapport à l'environnement et du contexte :

« Pas d'intention extérieure, il y a une relation à l'extérieur. Je note ce qu'il se passe autour, je peux m'en servir mais tout vient de l'intérieur. »

« Énorme importance du contexte, la lumière, la mobilité infinie de la lumière. C'est chiant de faire de la danse dans un décor immobile. »

« Expo où le contexte fait que ça donnait envie de danser, endroit clos dans le noir, musique funk »

« J'imagine un cadre, j'improvise et je fixe »

Concernant le rapport à l'autre, la rencontre entre deux personnalités va donner le ton

« J'ai besoin d'un imaginaire que j'applique au corps, quand tu es avec d'autres, cet environnement change tout le temps, l'imprévu est plus présent »

« Quand tu es à plusieurs, tu partages un espace, tu as la contrainte de l'autre. Les duos ou trios qui se font naturellement sont faits par le regard et par l'envie. J'aime beaucoup sa personnalité de danseur, il est très différent de moi, son énergie est super, très musculaire, Un lent ça va pas me plaire sur la durée »

« Si j'ai en face de moi quelqu'un de très terrien, ultra-tonique (le contraire de moi), mes gestes vont être générées sans mon accord »

Les rencontres entre danseurs se font ou non :

« Il émerge des rôles, des guides, des dominants/dominés »

« J'ai une façon d'aborder l'impro qui est de dire laisser la rencontre se faire, si elle se fait et si ya rencontre, c'est pas parce que vous allez vous approcher qu'il y aura rencontre »

« Peut-être qu'il n'y aura jamais de rencontre mais ce sera peut-être aussi tellement beau de voir une magnifique relation »

« Je n'ai pas à jouer à chercher du lien là où il n'y en a pas. Plus je retarde ce moment là plus ce qu'il va se passer sera riche. Plus ce sera une source de tension et de suspense. »

« L'improvisation c'est aussi le choix de réagir ou non à quelque chose qui arrive »

L'imagination s'exprime alors, alimentée par des cultures multiples :

Avoir quel corps je fais cette exploration ? Corps physique / imaginaire, l'imaginaire se déploie bien plus que le physique.

Les images et métaphores alimentent le déploiement du mouvement :

« Une manière possible d'aborder l'imaginaire c'est d'imaginer que le mouvement prend sa source hors de la biomécanique, si je veux que ma nuque s'envole, elle s'envole, si je veux que mon diaphragme se vrille, il se vrille. Je peux imaginer un potentiel infini pour mon corps, que mon genou fonde par exemple »

« Si en plus de ça des forces extérieures s'expriment, une grande vague qui me porte, quelque chose qui me pique à l'intérieur, je peux alimenter ça de manière multiple »

« Il faut juste ne pas devenir la marionnette de l'imaginaire, dans le cas de la musique par exemple, on peut avoir tendance à trop se laisser guider. Il faut garder son phrasé, on ne doit pas être piloté mais nourri. On se conjugue »

La culture spirituelle peut également venir contextualiser l'échange :

« Dans le tango on parle des chakras, des connexions, ceux du bassin du cœur, chakra 2 et 4. Avec certaines personnes on trouve des connexions sur tel chakra, émotionnel, physique, sexuel, cérébral. Dans une impro je cherche la manière dont on est reliés, quel chakra se connecte »

Tu peux danser avec quelqu'un sans le regarder, vision périphérique

Les outils théoriques du danseur vont ensuite nuancer le geste, par exemple les paramètres de Laban :

« La poésie vient du décalage progressif du geste, dans l'ajustement des fondamentaux de Laban. Tu peux proposer un geste qui a un reflet particulier pour toi et l'autre s'en empare en modifiant un paramètre, il se crée une poésie »

« On peut trouver un équilibre dans le contreponds entre les paramètres de l'un et de l'autre »

« Quand vous faites de l'impro vous êtes un dj, vous bougez les curseurs »

Le langage non verbal donne également de nombreux signes, concernant notre propre état et celui de l'autre :

« La confiance qu'il me porte se voit au regard, dans les appuis, l'ancrage, la vitesse, bavardage/trop lent, ou alors à la juste vitesse »

« Je sens à ma respiration si je suis à l'aise dans une improvisation, si je suis en apnée ça bloque tout le corps, une respiration profonde engage plus »

« On ne va plus se focaliser sur la personnalité mais par ce qui se dit au travers du geste. Le geste est une participation de la personne complète »

Tout ceci alimente la mission que les danseurs se sont donnés pour leur moment personnel ou partagé. Il n'y a pourtant pas nécessairement de règle commune ou d'objectif commun.

« Repérer une bonne impro est compliqué, juger son travail repose sur ses propres paramètres »

« C'est comme la musique, deux notes en appellent une 3e ou un rythme. Il faut être à l'écoute de cet appel »

« Une impro ratée équivaut au fait que le canal de discussion commun n'a pas été trouvé »

Pourtant il est possible d'isoler certains critères de réussite d'une improvisation, nos danseurs en formulent quelques-uns :

« Ne pas faire des choses mécaniques, être là, corps perception sont connectés, ne pas être ailleurs, ne pas avoir un retour de ce que je suis en train de faire »

« Une bonne impro se sent par un relâchement mutuel, quelqu'un qui réfléchit trop et qui se lâche pas assez c'est chiant et désagréable »

« Il faut trouver l'état de fusion »

« Je trouve ça enrichissant de laisser deux personnes dans leurs mondes respectifs, ça peut être très beau »

« Trouver un accord c'est souvent affaiblir la relation. Le point d'accord va être une décision mentale, dictée par une idée de ce que doit être la rencontre, alors qu'en jouant sur d'infinis désaccords, de dissonances, de contrastes, alors elle sera mouvante et mobile. »

Annexe I.4 • Sensations

Cet état de réussite peut conduire à des phénomènes et sensations fortes : l'une d'elles est évidemment le plaisir :

« La sensation de plaisir, de joie intense vient du fait d'être ancrée, présente »

« Comme un dialogue fluide à l'intérieur de soi, relâcher le contrôle »

« Quelqu’un qui est bon en danse, t’as envie de danser avec par intérêt »

« Plaisir lié au corps de se surpasser, ça peut être douloureux mais hyper chouette, chercher ses limites »

« Ce plaisir du flow est un des moyens les plus efficaces pour faire taire le mental »

Mais cela peut-être également comme une distance à soi-même

« Tu perds la notion de ton environnement de ton espace, le haut n’est plus le haut, le bas non plus, tu es très connecté à l’autre, le temps est nouveau, le sol n’est plus le même non plus, l’espace se déforme, tout est déstructuré (référence à inception) planer, voler, flotter, tu peux faire des choses que tu ne peux pas faire dans l’ordinaire »

« Quand une impro est réussie, je vis un effet ensuite d’ouverture, qui me change intérieurement de 24 à 48h, et je ne retrouve pas ça dans l’interprétation et la chorégraphie »

« tu t’observes en flow »

Annexe II • Notes au questionnaire post-expérience Pouchet

Annexe II.1 • Ensemble des notes

Affirmation	Moyenne	Ecart-type
À quel point connaissiez-vous l’autre personne avec qui vous avez passé cette expérience ?	0.14	0.47
J’ai trouvé cet espace visuel et silencieux très séduisant	4.48	1.47
La simplicité de l’environnement de réalité virtuelle me rendait d’autant plus curieux.euse et exploratifs.ives	4.41	1.61
Mon partenaire n’a pas apprécié l’expérience	1.76	1.85
J’avais une agréable sensation de légèreté	4.29	1.57
J’oubliais souvent (régulièrement ?) que certaines des balles représentaient une autre personne	3.62	2.15
Des éléments du monde réel m’ont souvent extrait de mon expérience en réalité virtuelle	1.24	1.56

Mon attention était davantage focalisé sur mes propres mouvements que sur la relation entre nos mouvements respectifs	2.86	1.98
Dans cette expérience de réalité virtuelle, je me sentais être davantage que mon moi habituel	2.76	2.03
Mes mouvements étaient plus fluides et faciles que d'habitude	2.83	1.86
La connexion et les interactions avec l'autre personne se faisaient facilement et très naturellement	3.07	1.81
J'aurais aimé que l'expérience dure beaucoup plus longtemps	3.48	1.89
J'étais davantage conscient de mon corps que d'habitude	2.71	1.92
Je ne trouvais pas que l'autre personne répondait aux propositions que je faisais	2.95	1.71
Je trouve que l'installation en réalité virtuelle limitait le potentiel de mes mouvements	2.36	1.79
Mes mouvements étaient motivés par ce que je pensais que l'autre personne percevait	2.52	2.06
Mes mouvements et ma créativité étaient amplifiés par la présence de l'autre personne	3.79	1.85
J'étais souvent celui qui initiait les interactions avec l'autre personne	2.88	1.52
Quand on pouvait voir nos balles dans le miroir, j'avais le sentiment que nos mouvements ne faisaient qu'un	3.19	1.92
Je ne faisais pas attention au reflet de nos mouvement dans le miroir	1.83	2.13
Quand nos balles avaient des couleurs différentes, je me sentais davantage séparé de l'autre personne	1.98	2.14
J'avais le sentiment que l'autre personne était absorbée par le miroir	1.31	1.70
Quand je ne pouvais plus voir mes propres balles, je trouvais que j'interagissais davantage avec l'autre personne	2.38	2.17
La manière de bouger de l'autre personne me faisait sentir qu'elle voyait des choses différentes de moi	2.86	1.98

Quand je ne voyais plus mes propres balles, je ressentais davantage de proximité avec l'autre personne. L'absence de mes propres balles me faisait ressentir davantage de proximité avec l'autre personne	2.48	2.12
Ne pas avoir d'instructions ou de buts spécifiques me déroutait et m'égarait	1.83	1.79
Co-habiter l'espace virtuel avec l'autre personne créait un sentiment d'intimité	3.14	2.09

Annexe II.2 • Groupe n'ayant pas identifié la coprésence versus celui qui l'a compris avant ou au début

Affirmation	Copresence non découverte 17 réponses		Copresence découverte 22 réponses	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
J'ai trouvé cet espace visuel et silencieux très séduisant	4.65	1.22	4.59	1.44
La simplicité de l'environnement de réalité virtuelle me rendait d'autant plus curieux et exploratif	4.56	1.79	4.23	1.57
Mon partenaire n'a pas apprécié l'expérience	1.50	1.97	1.77	1.88
J'avais une agréable sensation de légèreté	4.35	1.73	4.32	1.55
À quel point connaissiez-vous l'autre personne avec qui vous avez passé cette expérience ?	0.00	0.00	0.27	0.63
J'oubliais souvent (régulièrement ?) que certaines des balles représentaient une autre personne	5.29	1.10	2.36	1.89
Des éléments du monde réel m'ont souvent extrait de mon expérience en réalité virtuelle	0.82	1.19	1.41	1.65

Mon attention était davantage focalisé sur mes propres mouvements que sur la relation entre nos mouvements respectifs	3.06	2.19	2.73	1.78
Dans cette expérience de réalité virtuelle, je me sentais être davantage que mon moi habituel	2.41	2.00	3.18	1.94
Mes mouvements étaient plus fluides et faciles que d'habitude	2.71	1.99	2.95	1.79
La connexion et les interactions avec l'autre personne se faisaient facilement et très naturellement	3.24	1.99	3.14	1.70
J'aurais aimé que l'expérience dure beaucoup plus longtemps	3.88	1.50	3.36	2.17
J'étais davantage conscient de mon corps que d'habitude	2.53	1.97	2.86	1.93
Je ne trouvais pas que l'autre personne répondait aux propositions que je faisais	2.59	1.94	3.18	1.56
Je trouve que l'installation en réalité virtuelle limitait le potentiel de mes mouvements	2.41	1.70	2.32	1.86
Mes mouvements étaient motivés par ce que je pensais que l'autre personne percevait	1.47	1.66	3.36	1.89
Mes mouvements et ma créativité étaient amplifiés par la présence de l'autre personne	3.59	2.12	4.18	1.40
J'étais souvent celui qui initiait les interactions avec l'autre personne	2.35	1.50	3.45	1.34

Quand on pouvait voir nos balles dans le miroir, j'avais le sentiment que nos mouvements ne faisaient qu'un	3.76	1.89	2.91	1.90
Je ne faisais pas attention au reflet de nos mouvement dans le miroir	2.00	2.40	1.82	2.02
Quand nos balles avaient des couleurs différentes, je me sentais davantage séparé de l'autre personne	1.41	1.62	2.41	2.30
J'avais le sentiment que l'autre personne était absorbée par le miroir	1.24	1.71	1.27	1.75
Quand je ne pouvais plus voir mes propres balles, je trouvais que j'interagissais davantage avec l'autre personne	2.29	2.54	2.59	1.97
La manière de bouger de l'autre personne me faisait sentir qu'elle voyait des choses différentes de moi	2.00	1.94	3.32	1.86
Quand je ne voyais plus mes propres balles, je ressentais davantage de proximité avec l'autre personne. L'absence de mes propres balles me faisait ressentir davantage de proximité avec l'autre personne	2.00	2.03	3.00	2.18
Ne pas avoir d'instructions ou de buts spécifiques me déroutait et m'égarait	1.82	2.04	1.68	1.49
Co-habiter l'espace virtuel avec l'autre personne créait un sentiment d'intimité	2.59	2.18	3.45	2.09
Mes mouvements étaient motivés par ce que je pensais que l'autre personne percevait	2.05	1.88	3.22	1.99

Annexe III • Analyse comparative de la cohésion du mouvement

Nous pouvons voir ici les résultats du test d'annotation comparée réalisé avec cinq des membres du projet Articulations. L'exercice proposé était de noter nos appréciations respectives de la cohésion du mouvement minimaliste sur une même performance visualisée.

Les graphiques comparatifs suivants montrent les différentes notes normalisées (Fig. 117 à gauche), et leur écart-type sur cette même durée (Fig. 118 à droite).

Ces graphiques illustrent les styles de notation très différents et le peu de moments d'accords entre nos approches (représentés par les moments où l'écart type est le plus faible). Cette observation tendrait à supporter le choix de réaliser seul l'annotation des fichiers d'entraînement pour des métriques impliquant autant l'appréciation personnelle.

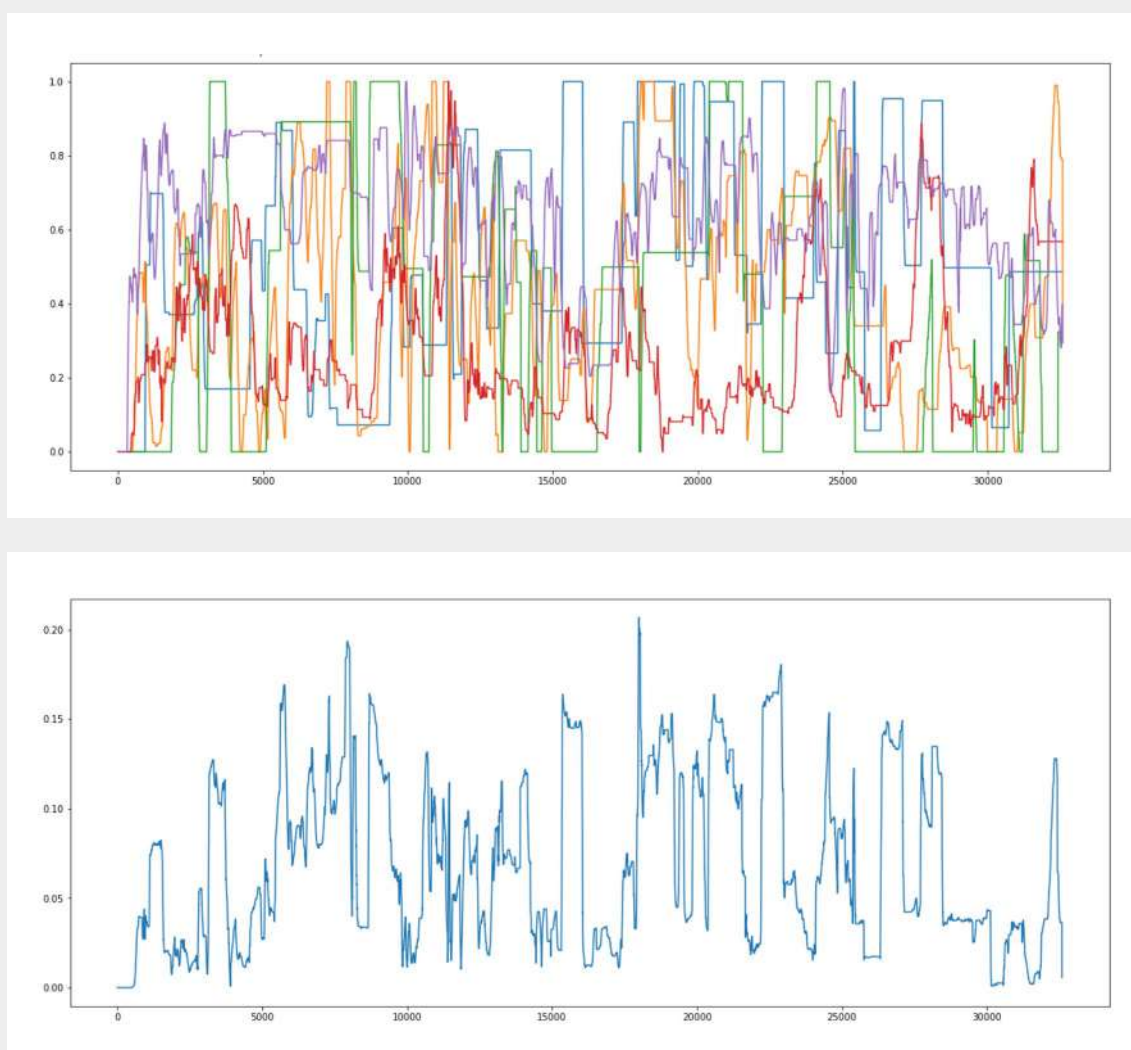


Fig.116 et 117 • En haut, les différentes notes données par les membres du projet pour une même performance, en bas, l'écart-type de nos différentes notes après normalisation

Annexe IV • Idéation Affective Landscapes

Annexe IV.1 • Paramètres influents

Cette phase se déroule sur la base de nos précédentes observations.

À partir des multiples dyades qui ont pu passer dans notre système lors des différents workshops et phases expérimentales, il nous est possible de lister les changements et événements suivants :

- **Utilisateur :**

- État créatif
- Attrait au design de l'expérience
- Fatigue
- Expressivité gestuelle
- Niveau de danse
- Attrait à la danse
- Expérience de la VR
- Attrait à la technologie

- **Contexte :**

- Bruit environnant,
- Présence d'objets / personnes non vues par les participants
- Rapports hiérarchiques avec ces personnes
- Taille de l'espace
- Sensation physique au sol
- Se savoir observé par des gens connus / inconnus
- Heure de la journée

- **Système :**

- Bugs, lags, sautes de tracking
- Niveau de chargement des capteurs / émetteurs wifi

- **Relation :**

- Coprésence découverte
- Proximité
- Similarité de qualités de geste
- Similarité des métriques individuelles
- Connaissance préalable

Annexe IV.2 • Réponses adaptatives thématiques

Espace

- densité de l'air
- profondeur de champ / aberrations chromatiques
- aspect massif des objets
- parallaxe des étoiles
- gravitation d'objets
- distorsion des échelles
- être dans une boîte
- affecter la forme de l'environnement
- plusieurs couches qui se masquent les unes et autres
- différentes sphères de particules qui passent en transparence les une après les autres
- devenir géant / tout petit
- vertige, immensité
- prendre de la hauteur
- monde impossible
- faire tourner le monde autour
- arène qui flotte et qui bouge
- voir la matière noire
- espace génératif
- être l'espace
- se voir en miroir répété / effet interstellar
- noir sur blanc / blanc sur noir
- ombres chinoises 2D
- brouillard

Temps

- voir son mouvement passé
- délai entre mouvement et actualisation (buffer)
- Trails
- fantôme de soi
- partager la même position que le médian
- ne voir le geste qu'au début et à l'arrivée
- ne voir le geste que lorsqu'on est en mouvement
- intégrer le temps passé dans l'expérience
- intégrer l'heure de la journée
- intégrer le temps où un descripteur a une valeur supérieure à un seuil
- le temps depuis le dernier pic à cette valeur
- le temps avant la fin de l'expérience / d'un morceau de musique

- Inertie dans le mouvement
- Trace du geste
- Reverse
- Prédiction du mouvement futur

Corps

- changer de point de vue
 - mise en abyme
 - liens entre les 3 points
 - metaballs
 - lutter contre ses propres mouvements
 - être soi-même un danseur médian
 - inertie du mouvement
 - couleur / forme
 - intégrer le mouvement dans la déformation des sphères
 - bouger l'environnement
 - être naturel / organique / une plante / enraciné
 - être vaporeux
 - être invisible
 - être ni visible ni invisible
 - être ubiquitaire
 - différents points de vue en même temps
 - se voir à la 3^e personne
 - lutter contre soi-même
 - lutter contre sa disparition
 - connaître la fin de son existence
 - couler, se casser, se répandre
 - faire partie du décor
 - remplir un réceptacle
 - explorer les limites au-delà de la kinésphère
 - n'être qu'une étape de l'environnement
 - être démultiplié, manipuler un réseau de sphères en fractales / patterns
 - les blocs de contraction
 - les sphères
 - Matérialiser le triangle du corps
 - kinésphère
 - transparence du corps
 - faire apparaître des sphères aux positions précédentes lorsque le mouvement est dynamique, rapide
- une suite de sphères dont la taille décroît ou la transparence croît

Effort

- créer une inertie important du geste
- flotter, tamponner (mettre des petits coups), glisser, feuilleter (petits coups)
- pousser, couper, essorer, presser
- faire léviter en cas de mouvement flottant
- glisser
- pouvoir faire des poussées dans le décor, comme des ondes de choc
- fissurer le décor
- faire frémir les objets environnants
- une force démultipliée

Relation

- Matérialiser le lien entre les deux danseurs en fonction du degré de oneness
- Les deux danseurs sont reliés par les coins d'une forme (tissu)
- Zones affectives
- être les sommets d'une même forme

Bibliographie

Aristidou, A., Charalambous, P., & Chrysanthou, Y. (2015). Emotion Analysis and Classification: Understanding the Performers' Emotions Using the LMA Entities: Emotion Analysis and Classification. *Computer Graphics Forum*, 34(6), 262-276.

<https://doi.org/10.1111/cgf.12598>

Aristidou, A., & Chrysanthou, Y. (2014). Feature Extraction for Human Motion Indexing of Acted Dance Performances: Proceedings of the 9th International Conference on Computer Graphics Theory and Applications, 277-287.

<https://doi.org/10.5220/0004662502770287>

Assayag, G. 2020

<https://ins2i.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/la-co-creativite-musicale-entre-humain-et-machine-erc-advanced-grant-de-gerard-assayag>

Auvray, M., Lenay, C., and Stewart, J. (2009). Perceptual interactions in a minimalist environment

Batras, D., Guez, J., Jégo, J.-F., & Tramus, M.-H. (2016). A virtual reality agent-based platform for improvisation between real and virtual actors using gestures. 1-4.

<https://doi.org/10.1145/2927929.2927947>

Bianchini, S., & Verhagen, E. (2016). *Practicable: From participation to interaction in contemporary art* (pp. 930-p). The MIT Press.

Bigé, R. (2017). *Le partage du mouvement. Une philosophie des gestes avec le Contact Improvisation* (Doctoral dissertation, PSL Research University).

Bishop, L. (2018) - Collaborative Musical Creativity: How Ensembles Coordinate Spontaneity

Borderie, J. (2015). *Le Team Flow: expérience optimale de coopération.*

Bret, M., Tramus, M. H., & Berthoz, A. (2015). Creation no. 2. *La Funambule virtuelle*, Michel Bret, Marie-Hélène Tramus, Alain Berthoz. Hybrid. *Revue des arts et médiations humaines*, (2).

Bryan-Kinns, N., and Hamilton, F. (2009). Identifying mutual engagement. *Behav. Inform. Technol.* 31, 101-125. doi: 10.1080/01449290903377103

Camurri, A., Coletta, P., Mazzarino, B., & Piana, S. (2012). Implementation of EyesWeb low-level features. 15.

Camurri, A., Coletta, P., Varni, G., & Ghisio, S. (2007). Developing multimodal interactive systems with EyesWeb XMI. 305.

<https://doi.org/10.1145/1279740.1279806>

Carlisle, J. H. (1976, June). Evaluating the impact of office automation on top management communication. In *Proceedings of the June 7-10, 1976, national computer conference and exposition* (pp. 611-616).

Csikszentmihalyi, M. (1990). *The psychology of optimal experience*. New York, Harper Collins.

Csikszentmihalyi, M. (1996). *Creativity: Flow and the psychology of discovery and invention*. New York: Harper.

Davis et al. (2015) - An Enactive Model of Creativity for Computational Collaboration and Co-creation

De Jaegher, H. (2013). Embodiment and sense-making in autism. *Frontiers in integrative neuroscience*, 7, 15.

De Jaegher, H., & Di Paolo, E. (2007). Participatory sense-making: An enactive approach to social cognition. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 6(4), 485-507.
<https://doi.org/10.1007/s11097-007-9076-9>

De Loor, P., Manac'h, K., Windelschmidt, C., Devillers, F., Chevaillier, P., & Tisseau, J. (2014). Connecting Interactive Arts and Virtual Reality with Enaction. 11(2), 14.

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). The general causality orientations scale: Self-determination in personality. *Journal of research in personality*, 19(2), 109-134.

Desnoyers-Stewart, J., Stepanova, E. R., Riecke, B. E., & Pennefather, P. (2020). Body RemiXer: extending bodies to stimulate social connection in an immersive installation. *Leonardo*, 53(4), 394-400.

Dewey, J., 1930. *Construction and criticism*. Vol. 1. Columbia University Press.

Di Paolo, E. A., Rohde, M., & De Jaegher, H. (2010). Horizons for the Enactive Mind: Values, Social Interaction, and Play. In J. Stewart, O. Gapenne, & E. A. Di Paolo (Eds.), *Enaction* (pp. 32-87). The MIT Press.
<https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262014601.003.0003>

Dittrich, W. H., Troscianko, T., Lea, S. E., & Morgan, D. (1996). Perception of emotion from dynamic point-light displays represented in dance. *Perception*, 25(6), 727-738.

Dourlens, S. (2012). *Multimodal Interaction Semantic Architecture For Ambient Intelligence*.

Dubey, G, Moricot, C, *Dans la peau d'un pilote de chasse - Le spleen de l'homme-machine*, Paris, Presses Universitaires de France-PUF, 2016, p.94631bid., p.96.

Ebert, D. S., Fisher, B. D., & Isenberg, P. (2013). Interaction with Information for Visual Reasoning (Dagstuhl Seminar 13352). *Dagstuhl Reports*, 3.

Fallman, D. (2008). The Interaction Design Research Triangle of Design Practice, *Design Studies*, and Design Exploration. *Design Issues*, 24(3), 4-18.
<https://doi.org/10.1162/desi.2008.24.3.4>

Fdili Alaoui, S., Caramiaux, B., Serrano, M., & Bevilacqua, F. (2012). Movement qualities as interaction modality. 761.
<https://doi.org/10.1145/2317956.2318071>

Fdili Alaoui, S., Françoise, J., Schiphorst, T., Studd, K., & Bevilacqua, F. (2017). Seeing, Sensing and Recognizing Laban Movement Qualities. Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 4009–4020.
<https://doi.org/10.1145/3025453.3025530>

Froese, T., Iizuka, H., and Ikegami, T. (2014a). Embodied Social Interaction Constitutes Social Cognition in Pairs of Humans: a Minimalist Virtual Reality experiment. *Sci. Rep.* 4, 3672. doi:10.1038/srep03672

Froese, T., Iizuka, H., and Ikegami, T. (2014b). Using Minimal Human–Computer Interfaces for Studying the Interactive Development of Social Awareness. *Front. Psychol.* 5, 1061. doi:10.3389/fpsyg.2014.01061

Gaggioli, A., Riva, G., Peters, D., & Calvo, R. A. (2017). Positive technology, computing, and design: shaping a future in which technology promotes psychological well-being. In *Emotions and affect in human factors and human-computer interaction* (pp. 477–502). Academic Press.

Galimberti, J. (2015). “The early years of GRAV: Better Marx than Malraux,” *Own-Reality*, 13. Available at <http://www.perspectivia.net/publikationen/ownreality/13/galimberti-en> (accessed April 28, 2017). 14

Garcia, M. (2020). Performance transfer: Animating virtual characters by playing and acting.

Garnier, F., Tsai, F., & Zamplaras, D. (2019). TAMED CLOUD: Sensible interaction with a swarm of data. 8.

Gerber, E. (2007). Improvisation principles and techniques for design. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '07, 1069. <https://doi.org/10.1145/1240624.1240786>

Giedd 2012, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3432415/>

Gifford, T., Knotts, S., Kalonaris, S., McCormack, J., (2017) - Evaluating Improvisational Interfaces

Giraldo G., Servières, M., Moreau, G., “Perception of Multisensory Wind Representation in Virtual Reality,” 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2020, pp. 45–53, doi: 10.1109/ISMAR50242.2020.00024.

Giroud, G. (2019) - Mythes et limites de la symbiose en IHM - http://iihm.imag.fr/IHM19/IHM-2019/C_ResumesEtendus/2_alt-IHM/alt01-giroud.pdf

Gray, P., (2008) - The Value of Play I: The Definition of Play Gives Insights <https://www.psychologytoday.com/us/blog/freedom-learn/200811/the-value-play-i-the-definition-play-gives-insights>

- Hart, Y., Noy, L., Feniger-Schaal, R., Mayo, A. E., & Alon, U. (2014). Individuality and Togetherness in Joint Improvised Motion. *PLoS ONE*, 9(2), e87213.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087213>
- Hassenzahl, M. (2018). The Thing and I (Summer of '17 Remix). In M. Blythe & A. Monk (Eds.), *Funology 2* (pp. 17-31). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-68213-6_2
- Heider, F., & Simmel, M. (1944). An experimental study of apparent behavior. *The American journal of psychology*, 57(2), 243-259.
- Himberg, T., Laroche, J., Bigé, R., Buchkowski, M., Bachrach, A, (2018) - Coordinated Interpersonal Behaviour in Collective Dance Improvisation: The Aesthetics of Kinaesthetic Togetherness
- Hinman, R., (2013). Eight Principles of Natural User Interfaces
<https://www.designprinciplesftw.com/collections/eight-principles-of-natural-user-interfaces>
- Hussain, J., Ul Hassan, A., Muhammad Bilal, H. S., Ali, R., Afzal, M., Hussain, S., Bang, J., Banos, O., & Lee, S. (2018). Model-based adaptive user interface based on context and user experience evaluation. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 12(1), 1-16.
<https://doi.org/10.1007/s12193-018-0258-2>
- Jameson, A. (2003). Adaptive interfaces and agents. In J.A. Jacko & A. Sears (Eds.), *The Human Computer Interaction Handbook*, Mahwah, NJ: Erlbaum, 305-330.
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & psychophysics*, 14(2), 201-211.
- Kantosalo A, Falk M and Jordanous A (2021) Embodiment in 18th Century Depictions of Human-Machine Co-Creativity. *Front. Robot. AI* 8:662036. doi: 10.3389/frobt.2021.662036
- Kitson, A., Prpa, M., & Riecke, B. E. (2018). Immersive Interactive Technologies for Positive Change: A Scoping Review and Design Considerations. *Frontiers in Psychology*, 9.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01354>
- Kitson, A. (2019). Digital Wellbeing: Considering Self-transcendence. 5.
- Kolski, C., Le Strugeon, E., (1998). A review of intelligent human-machine interfaces in the light of the ARCH model. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 10 (3), 193-231.
- Laban, R., Ullmann, L (1971) « Mastery of Movement » (3rd ed.). Macdonald & Evans Ltd, London, United Kingdom.
- Lallemand, C (2015)
https://www2.slideshare.net/Carine_Lallemand/embrace-ux-and-adapt-your-evaluation-methods-accordingly-canux-2015-short-talk

Laroche, J., Vuarnesson, L., Endaltseva, A., Dumit, J., & Bachrach, A. (2021). [Re]moving Bodies – A Shared Diminished Reality Installation for Exploring Relational Movement. *Frontiers in Psychology*, 12, 539596.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.539596>

Lefebvre, L. (2008). Les indicateurs non verbaux dans les interactions médiatisées [PhD Thesis]. Université de Bretagne Sud.

Limerick, H., Coyle, D., & Moore, J. W. (2014). The experience of agency in human-computer interactions: a review. *Front. Hum. Neurosci.* 8: 643 (2014).

Magerko, B., & Long, D. (2020). Why Don't computers improvise with us.
<http://dx.doi.org/10.1145/3334480>

Manning, E. (2009). *Relationescapes: Movement, Art, Philosophy*. Cambridge, MA, USA: MIT Press.

Maturana, H. R., & Varela, F. J. (1972). *Autopoiesis and cognition: The realization of the living*

McCormack, J., Hutchings, P., Gifford, T., Yee-King, M., Llano, M. T., & D'Inverno, M. (2020). Design Considerations for Real-Time Collaboration with Creative Artificial Intelligence. *Organised Sound*, 25(1), 41-52.
<https://doi.org/10.1017/S1355771819000451>

Mladenović, J., Mattout, J., & Lotte, F. (2017). A generic framework for adaptive EEG-based BCI training and operation. *ArXiv Preprint ArXiv:1707.07935*.

Mori, M. (1970). Bukimi no tani [The uncanny valley]. *Energy*, 7 (4) 33-35.

Noessel, C. (2017) *Designing Agentive technology, AI that works for people*

Norman, D.A. (1986). Cognitive engineering. In *User Centered System Design: new perspectives on human-computer interaction*, D.A. Norman, J.W. Draper (eds.), Hillsdale, New-Jersey: Lawrence Erlbaum associates, 31-61.

Noy, L., Dekel, E., & Alon, U. (2011). The mirror game as a paradigm for studying the dynamics of two people improvising motion together. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(52), 20947-20952.

Noy, L., Levit-Binun, N., & Golland, Y. (2015). Being in the zone: Physiological markers of togetherness in joint improvisation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00187>

Osimo, S. A., Pizarro, R., Spanlang, B., & Slater, M. (2015). Conversations between self and self as Sigmund Freud—A virtual body ownership paradigm for self counselling. *Scientific Reports*, 5(1).
<https://doi.org/10.1038/srep13899>

Pasch, M., Bianchi-Berthouze, N., van Dijk, B., and Nijholt, A. (2009). "Immersion in movement-based interaction," in *Intelligent Technologies for Interactive Entertainment Lecture Notes of*

the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, eds A. Nijholt, D. Reidsma, and H. Hondorp (Berlin; Heidelberg: Springer), 169–180.

Paxton, S., *Esquisses de techniques intérieures*, Contact Quarterly, vol. 18(1), 1993 ; traduction Patricia Kuypers.

Pelachaud, C. (2005). Multimodal expressive embodied conversational agents. In Proceedings of the International Conference on Multimedia (SIGMM), pages 683–689. ACM. 45

Peña, J., Hancock, J. T., & Merola, N. A. (2009). The Priming Effects of Avatars in Virtual Settings. *Communication Research*, 36(6), 838–856.
<https://doi.org/10.1177/0093650209346802>

Penelaud, O. (2010). Le paradigme de l'énaction aujourd'hui. Apports et Limites d'une Théorie Cognitive « révolutionnaire ». *PLASTIR*, 18, 1–38.

Prpa, M., Fdili-Alaoui, S., Schiphorst, T., & Pasquier, P. (2020). Articulating Experience: Reflections from Experts Applying Micro-Phenomenology to Design Research in HCI. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–14.
<https://doi.org/10.1145/3313831.3376664>

Rathunde, K. (2015). Creating a Context for Flow: The Importance of Personal Insight and Experience. *NAMTA Journal*, 40, 15–27.

Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*; 39: 1161–1178.

Saunders, R., and Gemeinboeck, P. 2018. Performative Body Mapping for Designing Expressive Robots. In *Proc. ICCV*, 280–287.

Sawyer, R. K., 2009 « The Semiotics of Improvisation » Walter de Gruyter, Berlin / New York | 2009
 DOI: <https://doi.org/10.1515/semi.1996.108.3-4.269>

Schiavio, A., & De Jaegher, H. (2017). Participatory Sense-Making in Joint Musical Practice. In M. Lesaffre, P.-J. Maes, & M. Leman (Eds.), *The Routledge Companion to Embodied Music Interaction* (1st ed., pp. 31–39). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781315621364-4>

Senecal, S., Cuel, L., Aristidou, A., & Magnenat-Thalmann, N. (2016). Continuous body emotion recognition system during theater performances: Continuous body emotion recognition. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 27(3–4), 311–320.
<https://doi.org/10.1002/cav.1714>

Senecal, S., Nijdam, N. A., Aristidou, A., & Magnenat-Thalmann, N. (2020). Salsa dance learning evaluation and motion analysis in gamified virtual reality environment. *Multimedia Tools and Applications*.
<https://doi.org/10.1007/s11042-020-09192-y>

- Serino, A., Alsmith, A., Costantini, M., Mandrigin, A., Tajadura-Jiménez, A., Lopez, C. (2013). Bodily ownership and self-location: components of bodily self-consciousness. *Consciousness & Cognition*, 22(4), 1239–52. doi: 10.1016/j.concog.2013.08.013
- Shibolet, Y. (2018). Bodyminds in Movement: Embodied Cognition in the Practice and Discourse of Contact Improvisation. *Junctions: Graduate Journal of the Humanities*, 3(1), 72. <https://doi.org/10.33391/jgjh.8>
- Slater, M., & Steed, A. (2000). A Virtual Presence Counter. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 9, 413–434.
- Soliman, T. M., Ferguson, R., Dexheimer, M. S., and Glenberg, A. M. (2015). Consequences of joint action: entanglement with your partner. *J. Exp. Psychol. Gen.* 144, 873–888. doi: 10.1037/xge0000089
- Stolterman, S. (2008). The Nature of Design Practice and Implications for Interaction Design Research. *International Journal of Design*, 2(1), 55–65.
- Tajadura-Jiménez, Ana, Banakou, D., Bianchi-Berthouze, N., Slater, M. (2017). Embodiment in a Child-Like Talking Virtual Body Influences Object Size Perception, Self-Identification, and Subsequent Real Speaking. *Scientific Reports* 7: 9637. doi:10.1038/s41598-017-09497-3
- Taylor, A. G. (1997). WIMP interfaces. CS6751 Topic Report: Winter, 97.
- Taylor, T. L. (2009). *Play between worlds: Exploring online game culture*. Mit Press.
- Thévenin, D., Coutaz, J. (1999). Plasticity of user interfaces: framework and research agenda. In *Proceedings of Interact'99*, vol. 1, Edinburgh: IFIP, IOS Press, 110–117.
- Tseng, C., Cheng, M., Matout, H., Fujita, K., Kitamura, Y., Shioiri, S. & Bachrach, A. (2021). MA and Togetherness (Ittaikan) in the Narratives of Dancers and Spectators: Sharing an Uncertain Space. *Japanese Psychological Research*.
- Turkle, S. (1995). Ghosts in the machine. *The sciences*, 35(6), 36–39.
- Valori I, McKenna-Plumley PE, Bayramova R and Farroni T (2021) Perception and Motion in Real and Virtual Environments: A Narrative Review of Autism Spectrum Disorders. *Front. Psychol.* 12:708229. doi: 10.3389/fpsyg.2021.708229
- Van der Land, S. F., Schouten, A. P., Feldberg, F., Huysman, M., and Van den Hooff, B. (2015). Does Avatar Appearance Matter? How Team Visual Similarity and Member-Avatar Similarity Influence Virtual Team Performance. *Hum. Commun. Res.* 41 (1), 128–153. doi:10.1111/hcre.12044
- Varela, F. J. (1989). *Autonomie et connaissance. essai sur le vivant*. Paris : Seuil.
- Varela, F. J., Maturana, H. R. & Uribe, R. (1974). Autopoiesis: The organization of living systems, its characterization and a model. *Biosystems*, 5(4), pp. 187–196. 2, 3
- Varela, F. J., Thomson, E. & Rosch, E. (1993). *L'inscription corporelle de l'esprit. Sciences Cognitives et expérience humaine*. Paris : Seuil.

Vuarnesson L, Zamplaras D, Laroche J, Dumit J, Lutes C, Bachrach A and Garnier F (2021) Shared Diminished Reality: A New VR Framework for the Study of Embodied Intersubjectivity. *Front. Virtual Real.* 2:646930. doi: 10.3389/frvir.2021.646930

Wallace, P., and Maryott, J. (2009). The Impact of Avatar Self-Representation on Collaboration in Virtual Worlds. *Innovate: J. Online Edu.* 5 (5). doi:10.18848/1832-3669/cgp/v05i03/56003

Wigdor, D., & Wixon, D. (2011). *Brave NUI world: Designing natural user interfaces for touch and gesture.* Morgan Kaufmann.

Yaden, D. B., Haidt, J., Hood Jr, R. W., Vago, D. R., & Newberg, A. B. (2017). The varieties of self-transcendent experience. *Review of general psychology*, 21(2), 143-160.

Yee, N., and Bailenson, J. (2007). The proteus Effect: The Effect of Transformed Self-Representation on Behavior. *Hum. Comm Res* 33 (3), 271-290. doi:10.1111/j.1468-2958.2007.00299.x

Yee, N., Bailenson, J. N., & Ducheneaut, N. (2009). The Proteus Effect: Implications of Transformed Digital Self-Representation on Online and Offline Behavior. *Communication Research*, 36(2), 285-312.
<https://doi.org/10.1177/0093650208330254>

Zimmerman, J., & Forlizzi, J. (2014). Research Through Design in HCI. In J. S. Olson & W. A. Kellogg (Eds.), *Ways of Knowing in HCI* (pp. 167-189). Springer New York.
https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0378-8_8



RÉSUMÉ

Les récentes évolutions des technologies immersives et spatialisées sont porteuses de forts intérêts au sein des mondes de la recherche en design d'interactions et des sciences cognitives. En permettant de recourir à des modalités interactives souples comme le langage non-verbal, et en considérant la possibilité d'inclure l'apparence même des corps des utilisateurs comme des données mouvantes, de nouvelles règles d'interactions sont à inventer.

Faisant état de ces enjeux et de la complexité manifeste d'y proposer des réponses systématiques, cette thèse CIFRE vise par une approche en recherche-crédation à s'inspirer des activités d'improvisation dansées pour comprendre ce qui, dans le langage non-verbal, peut contribuer à développer de nouvelles formes d'interactions naturelles et intuitives.

MOTS CLÉS

Recherche-crédation, design d'interaction, réalité virtuelle, langage non-verbal, intelligence artificielle, improvisation dansée.

ABSTRACT

Recent developments in immersive and spatialized technologies are generating strong interest within the worlds of interaction design research and cognitive science. By allowing the use of flexible interactive modalities such as non-verbal language, and by considering the possibility of including the very appearance of users' bodies as alterable data, new interactive rules are to be defined.

Reporting on these issues and the complexity of systematising responses to them, this CIFRE thesis aims, through a research-creation approach, to draw inspiration from dance improvisation activities and understand what in non-verbal language can contribute to developing new forms of natural and intuitive interactive languages.

KEYWORDS

Research-creation, interaction design, virtual reality, non-verbal language, artificial intelligence, dance improvisation.