

NNT : 2015SACLS229

THESE DE DOCTORAT
DE L'UNIVERSITE PARIS-SACLAY,
préparée à l'Université Paris-Sud

ÉCOLE DOCTORALE N° n°566
Sciences du sport, de la motricité et du mouvement humain
Spécialité de doctorat : Sciences du Sport et du Mouvement Humain

Par

Florian Focone

LE MOUVEMENT EXPRESSIF DU CORPS ENTIER : VARIABILITÉS INTRA-
INDIVIDUELLES DANS DES CONTEXTES AFFECTIFS ET INTERACTIFS.

Thèse présentée et soutenue à Orsay, le 14/12/2015 :

Composition du Jury :

M P. De Loor, Professeur, Ecole National des Ingénieur de Brest,
Mme V. Demulier, Maître de Conférences, Université Paris-Sud,
M B. Isableu, Maître de Conférences, Université Paris-Sud,
M J-C. Martin, Professeur, Université Paris-Sud,
M D. Mestre, Directeur de Recherche au CNRS, Université de la Méditerranée,
Mme G. Venture, Professeure associée, Tokyo University of Agriculture and Technology,

Président
Co-directrice de thèse
Co-directeur de thèse
Co-directeur de thèse
Rapporteur
Rapporteur





Titre : Le mouvement expressif du corps entier : variabilités intra-individuelles dans des contextes affectifs et interactifs.

Mots clés : Mouvements ; Corps entier ; Affects ; Interactions ; Personnages virtuels ; Expressivités.

Résumé : Le mouvement est une composante primordiale de notre existence utilisé tous les jours pour accomplir des tâches simples et essentielles, mais également pour communiquer. Que cela soit intentionnel ou non, nos mouvements signent nos différences inter-individuelles, mais aussi intra-individuelles liées à aux états émotionnels, au statut social, et aux intentions. La cinématique de nos mouvements tend inéluctablement à évoluer et à s'adapter en fonction de l'environnement social. Ce qui différencie le mouvement des robots et des personnages virtuels de celui des humains est sa capacité à varier, un humain ne reproduisant jamais deux mouvements identiques. Depuis Darwin et ses travaux sur l'impact des émotions dans le mouvement jusqu'aux plus récentes études sur l'expressivité du mouvement dans des contextes d'interactions (p. ex. homme femme, interaction professeur-élève) et d'applications variées (p. ex. autisme, exergames), les chercheurs et entreprises cherchent à implémenter la variabilité du mouvement biologique humain dans les interactions homme-machine (IHM).

En s'appuyant sur les sciences sociales, du mouvement et de l'informatique, ce travail doctoral multidisciplinaire contribue à la compréhension de l'action et de la perception de mouvement expressif à travers trois études dans un contexte sportif d'interaction coach-novice. La première étude a pour objectif de comprendre comment l'expressivité du mouvement humain signe l'émotion perçue. La seconde étude s'intéresse aux variations du mouvement en fonction des statuts de passation. Une dernière expérience orientée IHM a été réalisée. Les paramètres morphiques et dynamiques de personnages virtuels expressifs évoluaient afin de comprendre leur importance sur le mouvement et la perception de participants. Les résultats de ces travaux mettent en évidence que certains paramètres de l'expressivité du mouvement issus de séries temporelles (ST) (énergie, caractère direct, rigidité et étendue spatiale) sont nécessaires pour discriminer les affects, les statuts et les ressentis des participants au sein des interactions. La visée applicative de ce travail doctoral est la création d'un coach virtuel aux mouvements expressifs permettant une interaction plus crédible.





Title: Full-body expressive movement: intraindividual variabilities in affective and interactive contexts.

Keywords: Movements; Full-body; Affects; Interactions; Virtual character; Expressivities.

Abstract: Movement is a major component of daily life. Every day we use it to perform simple and essential tasks and/ as well as to communicate. Whether intentional or not, movements sign intra-individual and inter-individual differences linked to social status, intentions and affects. The kinematic of movements evolves and adapts according of social environment. Distinction between movements of robots or virtual characters and human movements is that the latters can vary. From Darwin's first works related to the impact of affect on movement to recent studies about movement expressivity in various interactive contexts (e.g. man-woman, student-professor interaction) and applications (e.g. Autism, Exergames), researchers and industrials seek to implement the human specificity in human computer interaction (HCI). Based on social, movement and computer sciences, this

work contributes to a deeper understanding of action and perception of expressive movements through three studies, designed in a coach-sport student interaction context. The first study aimed at understanding how affects impact the expressivity of human movement. The second study examined movement variations according to different status between participants and social set-up. The last experience was IHM oriented. Morphic and dynamic parameters of virtual characters evolved in order to examine their importance on participants' movement and perception. Main results showed that expressivity features computed from different time-series (energy, directness, rigidity and spatial extent) are relevant to discriminate participants' affects, status and thoughts. This work has for application the design of a virtual trainer allowing credible full-body interactions through its expressive movements.

REMERCIEMENTS

Un grand merci à mes directeurs de thèse Jean-Claude Martin et Brice Isableu pour m'avoir fait confiance et pour leur support pendant ces trois années. Un « big up » merci à Virginie Demulier, ma troisième directrice arrivée en cours de route pour son soutien technique et moral, sa générosité, sa bienveillance mais aussi son niveau de français.

Un merci sincère à Gentiane Venture et Daniel Mestre pour avoir accepté de rapporter mon travail, pour leurs retours et les échanges lors de ma défense qui ont contribué à augmenter la qualité de ma thèse.

Un merci respectueux à Pierre De Loor, le président du jury et responsable du projet INteraction Gestuel cREDIBLE pour sa pertinence lors de nos discussions dans le cadre du projet mais aussi sa bonté, son courage et sa gentillesse.

Un merci amical aux doctorants, post-doctorants, ATER, ingénieurs... de mes deux laboratoires le LIMSI et le CIAMS pour tout : d'un Cesfo partagé à un but encaissé en passant par la participation à mes expériences. Dans un ordre aléatoire et essayant d'oublier personne : Caroline F, Mehdi B, David G, Sylvain C, Guillaume D, Yacine T, Elsa L, Lucie B, Lydia O, Renaud D, Jean-Baptiste C, Mathieu F, Mathieu D, Laure C, Servane L, Vérane F, Ramez R, Hugo B, Iréné L, Manon G, Agnès O, Anne-Laure M, Nicolas M, Mathieu D, Michael P, Stéphane I, Florie B, Vu Van H, Guillaume A, Maxime G, Jiewen H, Anna G, Elise P, Yu-Fang Y, Jean J.

Un énorme merci Président d'avoir été mon sage conseiller, j'ai bien appris et évolué mais surtout rigolé à tes cotés. Je ne suis pas fan de politique mais comme dirait Jacques C d'Allain J, tu es le meilleur d'entre nous.

Un « merci de votre participation » à la centaine de participants de mes expériences.

Un merci graphique à Ikse M, Christian J, Michèle G, Olivier K pour m'avoir fait confiance, conseillé et aidé durant mes projets Arts/Sciences. Julien K et Ismail K, quelle belle expérience avec vous, j'en garde que des bons souvenirs. Manuel V, nous avons formé un bon binôme.

UnE merci à l'équipe de choc Diagonale Stéphanie C, Pauline D, Alice L & Marjorie T pour l'accueil au top, le travail dans la joie et la bonne humeur, vos sourires et les bonnes rigolades.

Un merci rafraichissant autour d'un verre de Ricard à tou(tes)s mes ami(e)s du var et du reste du monde.

Un immense merci à ma famille et particulièrement à ma maman pour n'avoir jamais douté et toujours avoir été fière de moi.

1000 merci à ma thèse de m'avoir fait rencontrer toutes ces belles personnes, la thèse est maintenant terminée et ma copine est toujours là <3_<3.

Je dédicace ce travail aux personnes que je garde dans mon cœur, qui ne sont plus là et qui ont du bien se marrer en m'observant pendant ces trois ans.

TABLE DES MATIERES

Liste des tableaux, figures et équations	1
Liste des abréviations	4

Chapitre I : Introduction

1.1 Contexte et limitations	6
1.2 Cadre d'étude et questionnement	8
1.3 Plan du manuscrit.....	10
1.4 Le projet ANR INGREDIBLE et les études associées	12
1.5 Un état de l'art composite	14

Chapitre II : État de l'art

2.1 L'étude du mouvement	16
2.2 L'affect : une source de variabilité intra-individuelle du mouvement	23
2.3 Les interactions corporelles : une source de variabilité intra-individuelle du mouvement	38

Chapitre III : l'expressivité du mouvement : impact du contexte émotionnel sur la variabilité motrice intra-individuelle.

3.1 Introduction	48
3.2 Méthode	49
3.3 Résultats	55
3.4 Discussion	60
3.5 Synthèse	63

Chapitre IV :

l'expressivité du mouvement: variabilité intra-individuelle lors de l'interaction dyadique coach-novice.

4.1 Introduction	66
4.2 Méthode	68
4.3 Résultats	72
4.4 Discussion.....	79
4.5 Synthèse	81

Chapitre V :

l'expressivité du mouvement: variabilité Intra-individuelle lors de l'interaction dyadique coach-élève en interaction homme-machine.

5.1 Introduction	84
5.2 Méthode	85
5.3 Résultats	91
5.4 Discussion	95
5.5 Synthèse	98

Chapitre VI :

Conclusion et perspectives

6.1 Résumé des contributions	100
6.2 Discussion et perspectives.....	103
6.3 Conclusion générale	107
 Bibliographie	 110
Sciences transversales	119

LISTE DES TABLEAUX, FIGURES ET EQUATIONS

LISTE DES TABLES

TABEAU 1 : LIEN ENTRE LES EXPERIENCES ET LES OBJECTIFS DU PROJET INGREDIBLE.	12
TABEAU 2 : LE BRUIT A DIFFERENTS NIVEAUX DU SYSTEME SENSORIMOTEUR. D'APRES FAISAL ET COLL (2008).	17
TABEAU 3 : THEORIES DES EMOTIONS DISCRETES EN FONCTIONS DU NOMBRE D'EMOTIONS PRIMAIRES.	25
TABEAU 4 : PRINCIPAUX RESULTATS DES ETUDES PORTANT SUR L'EXPRESSIVITE ET L'AFFECT 34	34
TABEAU 5 : LES INDICES SOCIAUX EN LIEN AVEC LES COMPORTEMENTS SOCIAUX.	39
TABEAU 6: ST (INTERPRETATIONS ET EQUATIONS).....	53
TABEAU 7: DENOMINATIONS ET CALCUL DES VARIABLES ISSUES DES ST.	54
TABEAU 8 : RESUME DES ANALYSES GLMM POUR LA PREDICTION DES REPONSES AU QUESTIONNAIRE D'AUTO-EVALUATION.	56
TABEAU 9 : ESTIMATIONS DES EFFETS FIXES ET ESTIMATION DE LA VARIANCE-COVARIANCE POUR LES DIFFERENTS MODELES.	58
TABEAU 10 : RESUME DES ANALYSES GLMM POUR LA PREDICTION DES VALEURS DE L'AROUSAL MESURE CHEZ LES PARTICIPANTS.	59
TABEAU 11 : ESTIMATIONS DES EFFETS FIXES ET ESTIMATION DE LA VARIANCE-COVARIANCE POUR LE MODELE.	59
TABEAU 12: HYPOTHESES EN FONCTION DES CONDITIONS.	67
TABEAU 13 : DESCRIPTIFS DES CONDITIONS DE PASSATIONS POUR LE COACH ET L'ELEVE.	71
TABEAU 14 : EVOLUTION DES VARIABLES AU COURS DES CONDITIONS CHEZ LES COACHS ET LES ELEVES.....	74
TABEAU 15: CORRELATIONS ENTRE LES ITEMS DU QUESTIONNAIRE.	91
TABEAU 16: RESUMES DES MODELES GLMM.....	95
TABEAU 17: ESTIMATIONS DES EFFETS FIXES ET ESTIMATION DE LA VARIANCE-COVARIANCE POUR LES DIFFERENTS.....	96

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : LES LIENS CHOISIS POUR EXPLIQUER LA VARIABILITE MOUVEMENT.....	10
FIGURE 2 : LES LIENS ENTRE L'ETAT DE L'ART ET LES TROIS ETUDES.....	11
FIGURE 3 : DIFFERENTS OUTILS POUR LA CAPTURE DU MOUVEMENT.....	18
FIGURE 4 : SQUELETTE D'HUMAIN VIRTUEL VERSUS SQUELETTE HUMAIN.....	20
FIGURE 5 : ESPACE DE L'EFFORT ET DE LA FORME DANS LMA.....	21
FIGURE 6 : LES THEORIES DES EMOTIONS LES PLUS RENCONTREES.....	24
FIGURE 7.a et 7.b : DIFFERENTS MODELES DIMENSIONNELS.....	25
FIGURE 8 : LE QSENSOR.....	28
FIGURE 9 : PICTOGRAMMES DE SAM.....	29
FIGURE 10 : MOUVEMENTS ET POSTURES CHEZ DES CHIENS SUIVANT LEURS INTENTIONS.....	30
FIGURE 11 GRAPHIQUE DES PRINCIPAUX RESULTATS.....	35
FIGURE 12 GRAPHIQUE DES PRINCIPAUX RESULTATS DE L'ETUDE.....	36
FIGURE 13 : LES SIGNAUX SOCIAUX ET LEURS COMPOSANTES.....	38
FIGURE 14 STIMULI AVEC DES AVATARS.....	40
FIGURE 15 : ANALYSER LA SYNCHRONIE DANS LES INTERACTIONS.....	41
FIGURE 16 : DES EXEMPLES POSSIBLES DE SIGNATURES MOTRICES EN FONCTION DES CONFIGURATIONS SOCIALES.....	43
FIGURE 17 : DE LA PRISE DE MESURE A L'AFFICHAGE DU COACH VIRTUEL.....	44
FIGURE 18 : « YOUR SHAPE » EXEMPLE DE COACH VIRTUEL AVEC LA KINECT.....	46
FIGURE 19 : IMPRESSION-ECRAN DE CHAQUE MOUVEMENT TIREE D'UNE SEQUENCE COMPLETE POUR UN PARTICIPANT.....	50
FIGURE 20 : IMPRESSION ECRAN D'UNE FAUSSE VIDEOPROJECTION VIA SKYPE PENDANT L'EXPERIENCE.....	51
FIGURE 21 : ENSEMBLE DE 36 MARQUEURS POUR LA MOCAP.....	52
FIGURE 22 : RESUME DE LA METHODE DE L'EXPERIENCE I.....	54
FIGURE 23 : UN EXEMPLE DE PREDICTION D'UNE SORTIE : LE MODELE DE LA VALENCE.....	57
FIGURE 24 : PREDICTION DE LA SORTIE : LE MODELE DE L'AROUSAL.....	60
FIGURE 25 : LES PARTICIPANTS FACE A FACE DANS LA SALLE DE MOCAP LORS DE L'EXPERIENCE II.....	66
FIGURE 26 : DIFFERENTES CONDITIONS PENDANT L'EXPERIMENTATION DEUX.....	71
FIGURE 27 : DIFFERENTES POPULATIONS POUR DIFFERENTES EXPRESSIVITES AU FIL DES CONDITIONS.....	72
FIGURE 28 : LES DIFFERENCES ENTRE LES POPULATIONS DES MOYENNES DES EXPRESSIVITES.....	77
FIGURE 29 : LES POPULATIONS COACH ET ELEVES DANS L'ESPACE DES EXPRESSIVITES EN 3D ET DISTANCE ENTRE LES GROUPES.....	78
FIGURE 30 : UNE PARTICIPANTE DEVANT L'ECRAN OU LE COACH ETAIT AFFICHE, REPRODUISANT LA CHOREGRAPHIE.....	85
FIGURE 31 : LES ETAPES DE CREATION DU PERSONNAGE VIRTUEL MASCULIN SOUS BLENDER 2.73.....	87
FIGURE 32 : LES 10 STIMULI DE L'EXPERIENCE.....	88
FIGURE 33 : RELATION LINEAIRE DE LA TAILLE DES AVATARS POUR LES CONDITIONS FEMMES -20 CM, FEMME TAILLE REELLE ET FEMME +20CM EN FONCTION DE LA TAILLE DES PARTICIPANTS.....	90
FIGURE 34 : EVOLUTION DU RESSENTI ET DE LA REPONSE MOTRICE EN FONCTION DE LA TAILLE DU COACH VIRTUEL.....	93
FIGURE 35 : EVOLUTION DU RESSENTI ET DE LA REPONSE MOTRICE EN FONCTION DE L'EXPRESSIVITE DU COACH VIRTUEL.....	93
FIGURE 36 : SCHEMA DES PRINCIPAUX RESULTATS DE L'EXPERIENCE I.....	101
FIGURE 37 : SCHEMA DES PRINCIPAUX RESULTATS DE L'EXPERIENCE II.....	1021
FIGURE 38 : SCHEMAS DES PRINCIPAUX RESULTATS DE L'EXPERIENCE III.....	103

LISTES DES EQUATIONS

EQUATION 1 : EQUATION DE LA SERIE TEMPORELLE ENERGIE.	21
EQUATION 2: CARACTERE DIRECT	53
EQUATION 3 : ETENDUE SPATIALE	53
EQUATION 4: RIGIDITE	53
EQUATION 5 : MOYENNE ARITHMETIQUE	54
EQUATION 6 : ECART TYPE	54

LISTE DES ABREVIATIONS

3D : Trois dimensions

4D : Quatre dimensions

ACP : Analyse en composantes principales

D : Caractère direct

DES : Differential Emotion Scale

E : Energie

EDA : Activité électrodermale

ECG : Électroencéphalographie

EMG : Électromyographie

EVA : Échelles visuelles analogiques

FC : Fréquence cardiaque

FR : Fréquence respiratoire

GLMM : Modèles linéaires généralisés mixtes

IHM : Interactions homme-machine

LMA : Analyse du mouvement de Laban

MOCAP : Capture du mouvement

R : Rigidité

ROM : Plage de mouvement

SAM : Self-Assessment Manikin

SE : Etendue spatiale

SSP : Traitement des signaux sociaux

ST : Série temporelle

CHAPITRE I :

INTRODUCTION

1.1 Contexte et limitations	6
1.1.1 Variabilité du mouvement humain : un canal de communication	6
1.1.2 Le mouvement expressif : rallier le qualitatif au quantitatif	7
1.1.3 L'expressivité dans les applications interactives avec des personnages virtuels	7
1.2 Cadre d'étude et questionnement	8
1.2.1 Quelques définitions	8
1.2.2 Au vu de l'existant	9
1.2.3 Problématique générale	9
1.3 Plan du manuscrit	10
1.4 Le projet ANR INGREDIBLE et les études associées	12
1.4.1 INGREDIBLE	12
1.4.2 Trois études complémentaires autour d'INGREDIBLE	12
1.5 Un état de l'art composite	14

CHAPITRE I : INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE ET LIMITATIONS

1.1.1 VARIABILITE DU MOUVEMENT HUMAIN : UN CANAL DE COMMUNICATION

L'habileté à percevoir, comprendre, produire et réguler des **signaux sociaux** dans une situation de communication et d'interaction sociale avec des personnes constitue l'intelligence sociale. Ce facteur important de succès dans la vie (Goleman, 2007) trouve sa source dans la capacité à donner du sens aux indices verbaux et non verbaux. **Les enjeux** scientifiques dans l'étude de la communication humaine servent des enjeux technologiques et sociétaux. Un des buts recherchés est d'**augmenter la qualité des interactions** avec des humains (p. ex. entre les patients et le personnel de santé), des applications informatiques (expériences utilisateurs), des personnages virtuels ou de robots (en améliorant leur personnalisation et leur crédibilité).

Le poids alloué aux indices verbaux et non verbaux (Vinciarelli et coll. 2009) dépend de la nature de l'interaction. Toutefois, selon (Argyle, 1994), les signaux **non verbaux** apporteraient l'essentiel de l'information durant l'interaction. Ces informations continues de comportements renseignent à propos des émotions, des états mentaux, de la personnalité et d'autres traits (**statut, dominance, rapport**, etc.) des interactants (Richmond et coll. 2011).

La littérature portant sur l'étude du lien entre les nombreux degrés de liberté du **canal corporel** et la spécification des affects est relativement récente (Montepare et coll. 1999). Cette littérature a permis d'établir que ce lien était particulièrement pertinent lorsqu'il s'agit d'exprimer des états émotionnels. Deux types d'analyses et d'études portant sur la spécification motrice et corporelle des affects se détachent nettement. Le premier groupe d'études est plus centré sur les gestes communicatifs et extra-communicatifs discrets chargés d'un contenu sémantique et porteurs de significations plus ou moins abstraites, de concepts idéographiques et métaphoriques (MCNeill, 1992) (Kendon, 2004) ou dits « de confort » (grattages, balancements, stéréotypies) qui ne véhiculent pas d'information au premier abord (Cosnier et Vaysse, 1997). Ces informations sont d'ordre **qualitatif**.

Le second groupe d'études concerne **le mouvement** et l'identification des émotions dans les schémas des variations de positions (amplitude, vitesse) dans l'espace d'une partie du corps. Dans le premier cas, l'analyse vidéo subjective et le codage par annotation de juges font légion dans la manière de traiter la mesure. Dans le second cas, des outils plus complexes et précis ont été développés par les chercheurs afin de fournir une **analyse quantitative du résultat**.

CHAPITRE I : INTRODUCTION

1.1.2 LE MOUVEMENT EXPRESSIF : RALLIER LE QUALITATIF AU QUANTITATIF

Les études restent rares quand il s'agit d'analyser quantitativement le mouvement humain. Il existe notamment plusieurs verrous dans la conception de protocoles expérimentaux adéquats dus à la difficulté dans le contrôle et la mesure. Par exemple, dans le cadre de l'interaction entre humain aucune étude n'a, à notre connaissance, considéré l'influence d'un paramètre social sur le mouvement corps entier en utilisant la capture du mouvement (**MOCAP**).

La **mesure des paramètres cinématiques** dans ce type d'étude reste difficilement interprétable. En effet, si depuis Jules Étienne Marey (1882) et le fusil photographique, les outils ont bien évolué, les valeurs que l'on calcule restent les mêmes (c.-à-d. la position et l'angulation des articulations). Récemment, un niveau de calcul plus haut (c.-à-d. des variables plus complexes et perceptivo-cognitives) a été employé dans des études en relation avec la communication expressive corporelle. Ces « middle » ou « high levels features » sont issus des qualités du mouvement, eux-mêmes descriptions subjectives de la dynamique du mouvement qui sont basées sur les informations cinématiques. Elles peuvent être décrites en quelques dimensions (voir ci-après). Le potentiel heuristique des **qualités du mouvement**, comme modalité de communication, réside dans la perception directe des forces et des contraintes internes (dynamiques) et leur association avec les intentions (tendance à l'action) (Runeson et Frykholm, 1983) et les émotions. Ce type de variable permet de relier l'approche perceptive et sémantique de la cinématique subjective des comportements humains (Gallaher, 1992 ; Shikanai et coll. 2013 ; Wallbott, 1998) et l'**approche computationnelle** via des algorithmes basés sur la vision par ordinateur (Enregistrement des données par vidéo RGB, KINECT, MOCAP) (Camurri et coll. 2003 ; Glowinski et coll. 2011). Les variables du système « effort-shape » de la méthode d'analyse du mouvement de Laban (LMA) sont largement utilisées dans ce cadre. Elles offrent une façon de caractériser les qualités du mouvement à partir de certaines ST comme par exemple l'énergie, l'impulsivité, la fluidité, le caractère direct et l'étendue. Ces indices sont différents en fonction des auteurs et il existe d'autres paramètres comme par exemple la rigidité (Montepare et coll. 1999). Ces ST caractérisent différentes caractéristiques observables dans le mouvement comme la vitesse pour l'**énergie**, l'**impulsivité** ou la **fluidité**, la trajectoire pour le **caractère direct**, l'amplitude pour l'**étendue** et le gel de degrés de liberté pour la **rigidité**.

1.1.3 L'EXPRESSIVITE DANS LES APPLICATIONS INTERACTIVES AVEC DES PERSONNAGES VIRTUELS

L'**informatique affective** est un domaine émergeant qui place les affects dans le cœur des systèmes intelligents (Picard, 2000). Les systèmes peuvent s'adapter en reconnaissant le stade émotionnel des utilisateurs, mais aussi afficher au travers d'une interface un affect permettant d'orienter les actions des utilisateurs. La conception d'agent anthropomorphe est une ligne de recherche en IHM. Le principal avantage de ces agents autonomes est de permettre une meilleure expérience utilisateur, en prenant exemple sur les interactions entre

CHAPITRE I : INTRODUCTION

humains (Cassell, Bickmore, Campbell et coll. 2001). Ainsi, les domaines de recherche se concentrent sur les rapports dans les interactions dyadiques (Zhao et coll. 2014) ou sur le naturel des représentations et des comportements « life-like » (André et coll. 2000). Les applications où **l'humain virtuel interactif** en corps entier est intéressant sont nombreuses et touchent différents contextes : présentation ou guide (Swartout et coll. 2010), éducation (Johnsen et coll. 2007), thérapeutique (Devault et coll. 2014).

Depuis quelques années, **l'expressivité** tend à être utilisée dans des applications d'IHM (Bergmann et coll. 2010). Celle-ci permet de représenter une personne (son style), un état émotionnel, un trait de caractère, la compétence, etc. (Bergmann et coll. 2010 ; Rajagopal, 2012). L'implémentation de l'expressivité du mouvement permet notamment de rendre les personnages virtuels plus crédibles (c.-à-d., un comportement perçu comme humain) (Cowell, 2001), et de ce fait, de faciliter l'interaction sociale.

Un exemple d'application IHM à forte composante sociétale est le coach virtuel sportif affichant des mouvements du corps entier. Orienté santé et ludo-éducatif, l'intérêt de se pencher sur le coach virtuel sportif dans les enjeux sociétaux et de santé serait pertinent dans la prévention de l'obésité chez les jeunes, dans l'activité physique en entreprise pour préserver les employés des risques psychosociaux et pour prévenir de la sédentarité chez les seniors (p. ex., conservation de leur capacités motrices et cognitives) (Maillot et coll. 2012)). Il y a de nombreux paramètres qui ont besoin d'être considérés dans la conception d'un coach intrinsèquement motivant (c.-à-d., relié au plaisir de la pratique) (Ryan et Deci, 2000). Les **exergames** engageants souffrent d'une absence de contrôle de la perception sociale (c.-à-d., interprétation des indices non verbaux dans les situations sociales) et suscitent peu d'attrait motivationnel chez l'utilisateur. Une possible amélioration est de transmettre de l'émotion à travers l'application. Yanghee (2005) a notamment mis en relation que l'émotion affichée par un agent agit sur les jugements sociaux des personnes, et notamment l'engagement (c.-à-d., la motivation).

L'importance d'avoir un coach motivant est qu'il est efficace. En accord avec la littérature, il a été montré que l'énergie dépensée était reliée au plaisir d'utilisation (Johnson, 2000 ; Lyons et coll. 2014). L'impact de l'expressivité n'a cependant jamais été étudié dans le cadre d'une application de **coach virtuel sportif**. Les influences potentielles de celles-ci sur les mouvements des utilisateurs mais aussi sur leurs ressentis en font une possible façon de les améliorer.

1.2 CADRE D'ETUDE ET QUESTIONNEMENT

1.2.1 QUELQUES DEFINITIONS

Mouvement : Hess en 1943 définit les deux composantes du mouvement volontaire. La composante éréismatique (posturale) qui permet la fixation des segments corporels et le contrôle de la position du centre de gravité. La composante télécinétique (instrumentale) qui permet l'atteinte d'un but, on lui attribue notamment les paramètres de vitesse et d'amplitude. Dans ce couple posture – mouvement, le second sera investigué.

CHAPITRE I : INTRODUCTION

Affect : Panksepp (Panksepp, 2000), envisage ce concept comme le ressenti (conscient) d'une émotion. L'émotion étant définie par l'auteur comme les changements de comportement, expressif, cognitif et physiologique se produisant.

Variabilité intra-individuelle : des changements se produisent pour un individu répétant une tâche dans des situations et des contextes identiques ou différents. Le premier cas fait référence bruit moteur (Faisal 2008), le second à variabilité intra-individuelle.

1.2.2 AU VU DE L'EXISTANT

Il existe des synergies entre mouvement et affect, mais aussi entre mouvement et contexte d'interaction. Les études existantes considèrent peu la variation du mouvement intra-individuelle en prenant compte du corps entier, notamment dans les dyades. L'étude de cette variabilité a pourtant de nombreux intérêts applicatifs. L'un des plus importants est d'améliorer les interactions entre humains et de plus en plus en IHM. L'informatique affective se sert de l'étude des dyades entre humains pour concevoir les interactans virtuels et robotique de demain. Une possible source de personnalisation et donc d'amélioration de ces interactions est la variabilité intra-individuelle expressive du mouvement. Le cadre sportif du coach virtuel est intéressant, car il permet d'étudier une variété importante de contextes différents. Ce cadre unifiera nos trois expérimentations.

1.2.3 PROBLEMATIQUE GENERALE

Ce travail questionne comment l'expressivité du mouvement est impactée par l'affect et par les caractéristiques dynamiques et perceptives des interactans dans des contextes différents (figure 1).

La problématique générale de la variabilité intra-individuelle du mouvement est complexe et multifactorielle. Le parti pris durant ce travail doctoral aura été de préférer l'environnement expérimental favorisant la mesure écologique. Au vue de la littérature, les affects et l'interaction ont été choisis comme causes possibles de la variabilité du mouvement. Trois études analysant les mouvements humains corps entier dans des expérimentations utilisant des contextes d'interaction variés ont été construites. Utiliser des indices d'analyse de la variabilité pertinents et interprétables, faisant le lien entre le quantifier et le qualifier a été un leitmotiv durant ce travail.

CHAPITRE I : INTRODUCTION

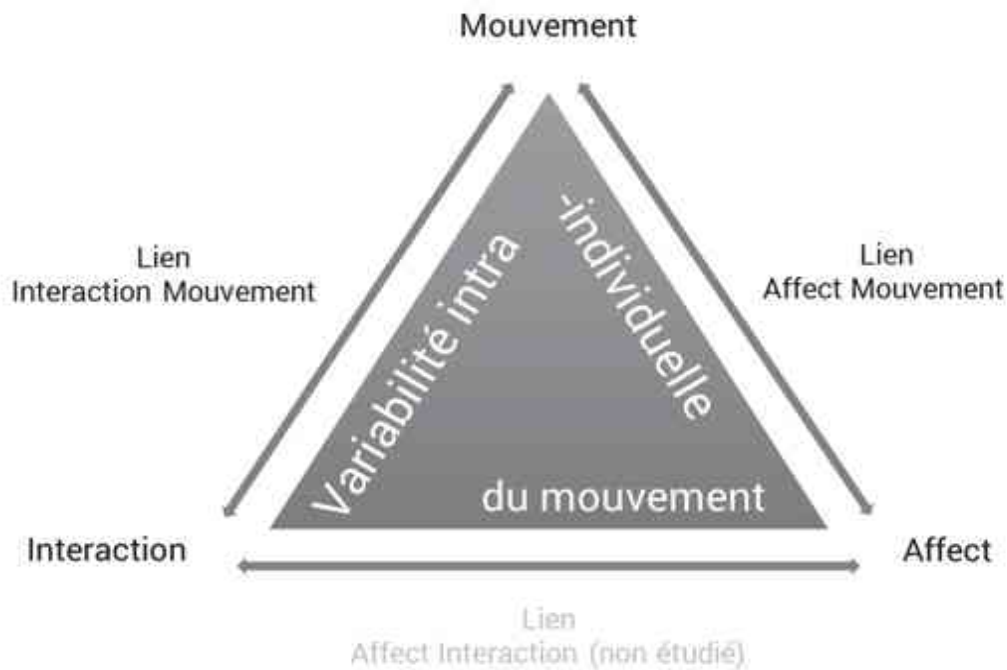


FIGURE 1 : LES LIENS CHOISIS POUR EXPLIQUER LA VARIABILITE MOUVEMENT.

1.3 PLAN DU MANUSCRIT

La revue de l'état de l'art (Chapitre 2) doit considérer plusieurs pans de littérature pour couvrir les interactions sociales et les affects dans le cadre de la variabilité du mouvement. Le mouvement sera abordé. Comment, historiquement jusqu'à nos jours, a-t-il été appréhendé et est-il enregistré, et quelles sont ses différentes sources de variabilité. Seront ensuite abordés les affects par différentes théories et classifications. Comment les éliciter et comment les évaluer ? Le lien entre les mouvements et les affects sera par la suite examiné. Enfin, les interactions sociales et les signaux sociaux seront abordés. L'intégration entre la variabilité du mouvement et plusieurs aspects tels que le genre et la dominance des interactants, les phénomènes de facilitation sociale et les études dans le cadre des coordinations des actions jointes seront abordées. Le parallèle avec les IHM sera introduit, plus particulièrement avec les agents virtuels expressifs et finalement dans le cas du coach sportif virtuel. Le lien entre émotion et interaction (p. ex. la contagion émotionnelle), et la variabilité interindividuelle (p. ex. la personnalité des participants) ne seront pas abordés durant ce travail pour des raisons de temps. Dans le dernier sous chapitre, un paragraphe sera dédié à la synchronie. Même si celle-ci ne sera pas étudiée directement, les perspectives d'études et d'améliorations futures dans les IHM nécessitent d'être discutées.

CHAPITRE I : INTRODUCTION

Les chapitres trois, quatre et cinq correspondent aux études une, deux et trois et seront traités de manière conventionnelle avec une introduction rappelant les tenants et aboutissants ainsi que les principales hypothèses. Une partie méthode décrira les choix expérimentaux, et sera suivie par une partie résultats. Enfin, une partie discussion et synthèse clôturera ces chapitres.

Le chapitre six sera consacré à la discussion générale et introduira les limites et perspectives de la thèse.

Enfin, après la bibliographie et les annexes, un chapitre transversal discutera des spécificités et des intérêts d'installations interactives Arts/Sciences utilisant la variabilité du mouvement. Conçues durant mon doctorat, deux installations seront successivement exposées et décryptées.

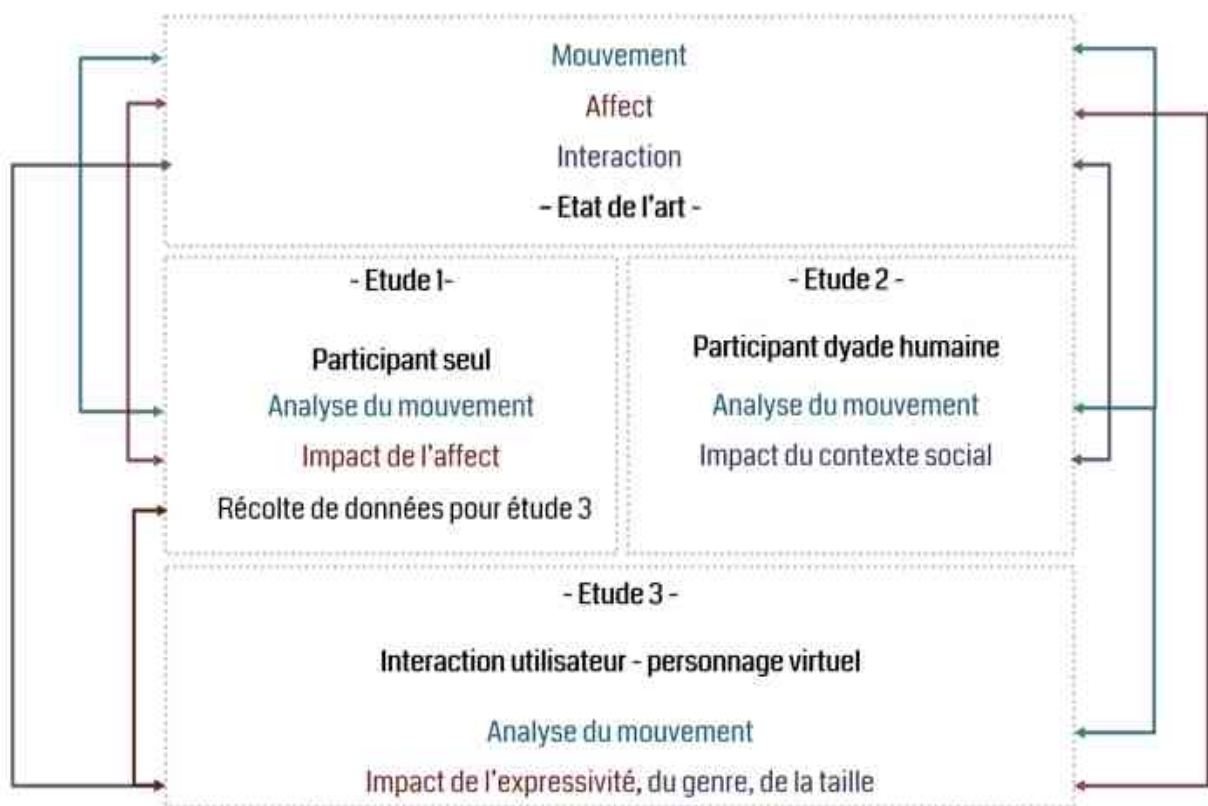


FIGURE 2 : LES LIENS ENTRE L'ETAT DE L'ART ET LES TROIS ETUDES.

CHAPITRE I : INTRODUCTION

1.4 LE PROJET ANR INGREDIBLE ET LES ETUDES ASSOCIEES

1.4.1 INGREDIBLE

Ce travail doctoral a été financé par le projet ANR **Interaction Gestuelle cREDIBLE**. Le projet INGREDIBLE propose des innovations scientifiques dans le domaine de l'interaction entre humains et personnages virtuels. En dotant le système d'une capacité de couplage dynamique corporel affectif avec un utilisateur dont l'analyse du mouvement se fait en temps réel. Trois laboratoires : le LIMSI-CNRS, le LabSTICC-ENIB, l'IRISA-UBS et un partenaire industriel Virtualys ont pris part à ce projet. Les expériences créées lors de cette thèse s'insèrent et se rencontrent dans les différents objectifs du projet (tableau 1).

TABLEAU 1 : LIEN ENTRE LES EXPERIENCES ET LES OBJECTIFS DU PROJET INGREDIBLE.

Objectifs du projet INGREDIBLE	Contributions des études
L'étude de l'expression des émotions.	1
L'étude et la formalisation de la dynamique des interactions gestuelles entre humains.	2
La synthèse de mouvements d'interaction expressifs.	1, 2 et 3
La reconnaissance de gestes en temps réel ainsi que leur anticipation.	2 et 3
Des scénarios d'usages provenant de différents domaines (sport).	1, 2 et 3
La modélisation d'agents autonomes interactifs et adaptatifs.	3
Application à plusieurs plateformes d'animation et à plusieurs scénarios applicatifs. Dispositifs (MOCAP - Optitrack) et plateformes d'animations (Irrlicht).	1, 2 et 3

1.4.2 TROIS ETUDES COMPLEMENTAIRES AUTOUR D'INGREDIBLE

Première étude : Comment l'affect impacte le mouvement ?

Au cours de cette étude, un protocole d'élicitation écologique a été employé pour se rapprocher au plus près de conditions réelles. Le protocole a été évalué subjectivement par les participants qui devaient remplir un questionnaire d'auto-évaluation après chaque condition. Pour contrôler physiologiquement les effets des conditions, un outil de mesure de l'activité électrodermale a été utilisé dans le but d'acquérir des variables objectives du degré d'activation physiologique « arousal », une composante de l'affect. Pour enregistrer le

CHAPITRE I : INTRODUCTION

mouvement humain, un système optoélectronique a été mis en place. Ces différentes mesures ont ensuite été mises en relation dans des modèles linéaires généralisés mixtes (GLMM). Des modèles statistiques ont permis de contrôler le poids de la variabilité inter et intra-individuelle dans la prédiction de variables cibles. Ici nos variables prédictives ont été des descripteurs statistiques (c.-à-d. moyenne, écart-type, entropie) des ST issues des qualités du mouvement (énergie, caractère direct, étendue spatiale et rigidité). Nos variables cibles ont été certaines émotions (attention, joie, surprise) et la valence issues du questionnaire d'auto-évaluation ainsi que l'arousal calculé avec l'outil physiologique.

Seconde étude : Comment le statut impacte le mouvement ?

Pour la seconde étude, l'effet du statut dans le cadre d'interaction sociale sportive (c.-à-d. coach ou novice) a été évalué. Plusieurs conditions sociales ont été créées (c.-à-d. seul, face-face, dos-dos, avec ou sans statut) pour mesurer leurs impacts respectifs sur le mouvement expressif. Une MOCAP corps entier a été réalisée au moyen d'un système optoélectronique. Comme dans la première expérience des variables extraites de certaines ST de la cinématique des mouvements ont été utilisées. Contrairement à la première expérience, une approche différente a été mise en place: la variance des groupes a été comparée à l'aide d'une ANOVA à mesures répétées pour appréhender les différences entre les conditions en fonction du groupe de coaches et du groupe de novices. L'évolution au fil des conditions a été modélisée sous forme graphique dans l'espace des expressivités pour vérifier comment le contexte (c.-à-d. coaction ou meneur-suiveur) a influencé la préférence motrice des participants.

Troisième étude : Comment l'expressivité d'un coach virtuel impacte le mouvement et la perception ?

La dernière étude a été construite comme une IHM dans laquelle un coach virtuel a été utilisé comme (contexte) outil de stimulation de l'interaction sociale. Un programme a spécialement été créé pour afficher une suite de mouvements identiques sur une plage de temps constante avec différentes variations expressives. Issues des précédentes expériences, certaines séquences de mouvement ont été choisies. Au cours de plusieurs conditions, le genre, la taille et l'expressivité du coach virtuel a varié. La séquence de mouvements exécutée par le coach a été reproduite par les participants et a été enregistrée grâce à un système optoélectronique. De ces enregistrements, les mêmes variables prédictives que les expériences précédentes (c.-à-d. extraction de paramètres des ST expressive ont été calculées. À la suite de chaque condition, divers questionnaires évaluant l'affect du personnage virtuel (SAM), sa motivation et la qualité de l'interaction ont été remplis par les participants. Ces variables subjectives ont été mises en relation avec les variables objectives issues de l'enregistrement du mouvement pour construire des modèles prédictifs au moyen des modèles linéaires mixtes généralisés

1.5 UN ETAT DE L'ART COMPOSITE

L'analyse du mouvement est au cœur de ce travail. La première partie de l'état de l'art a été nécessaire pour appréhender les subtilités de la prise de mesure du mouvement et leurs interprétations dans les trois études. La signature motrice de l'affect sera examinée dans le cas des études I et III. La littérature abordant les théories des émotions et les relations complexes entre l'affect et mouvement de l'élicitation jusqu'à l'évaluation était donc nécessaire. L'expressivité est un concept central de ce travail. L'expressivité fait le lien entre la mesure et l'interprétation. Ce concept est apparu dans plusieurs des chapitres reliant la variabilité du mouvement au travers des différents phénomènes. Dans l'étude II l'interaction corporelle entre deux humains dont le statut et les contextes de passations varieront sera analysée. Dans le cadre de l'étude III, le protocole mettra les participants en interaction avec un personnage virtuel. Ils devront juger l'affect communiqué par celui-ci dans des conditions d'expressivité du mouvement variées. Une revue de l'état de l'art sur l'interaction et les IHM a ainsi été considérée. Tout cela a conduit à un état de l'art couvrant plusieurs domaines de recherche ; qui a permis d'appréhender la plupart des phénomènes potentiellement rencontrés dans les études.

CHAPITRE II :

ÉTAT DE L'ART

2.1 L'étude du mouvement	16
2.1.1 La variabilité du mouvement humain.....	16
2.1.2 De la mesure à l'analyse	17
2.1.3 Synthèse	22
2.2 L'affect : une source de variabilité intra-individuelle du mouvement	23
2.2.1 Différentes théories et classifications	23
2.2.2 Élicitation des affects.....	26
2.2.3 Évaluation	27
2.2.4 Les Liens entre les affects et le mouvement	29
2.2.5 Synthèse.....	37
2.3 Les interactions corporelles : une source de variabilité intra-individuelle du mouvement.....	38
2.3.1 Les interactions homme-machine	39
2.3.2 Les signaux sociaux et la variabilité intra-individuelle	41
2.3.4 Personnages virtuels expressifs et applications au coach virtuel.....	44
2.3.4 synthèse.....	46

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

2.1 L'ETUDE DU MOUVEMENT

Historiquement, c'est Aristote au IV^e siècle qui s'intéresse le premier à l'analyse du mouvement humain. Les avancées scientifiques du XV^e au XVIII^e siècle formalisent les notions de force, de vitesse et d'accélération, grâce notamment à Copernic, Galilée et Newton. Ces travaux théoriques vont servir de terreau fertile et donner naissance aux premières études sur les sciences du mouvement et les premiers outils spécialement conçus pour leur analyse tels le fusil photographique et la plateforme de force en 1882 d'Etienne-Jules Marey. Le mouvement devient alors quantifiable objectivement par la mesure. À la même époque, une autre façon d'analyser le mouvement d'une manière plus subjective naît. Fruit de l'observation de la relation entre les émotions et les mouvements, Charles Darwin publie son ouvrage intitulé l'« Expression des émotions chez l'homme et les animaux » en 1872 (Darwin, 1872).

L'ambiguïté dans la définition de termes proches comme mouvement et gestes subsiste encore aujourd'hui. Dans ce travail, le mouvement est défini comme les variations de positions dans l'espace d'une partie du corps et caractérisé par certains paramètres tels l'amplitude et la vitesse. Le geste sémantique porteur d'intention et de signification est laissé de côté (Roux et Bril, 2002).

2.1.1 LA VARIABILITE DU MOUVEMENT HUMAIN

Une propriété intrinsèque du mouvement humain est sa variabilité. La comparaison des mouvements humains relevés pour une même tâche répétée révèle des différences. Il existe un nombre important de facteurs à l'origine de ces fluctuations dans les mouvements. Le contrôle moteur est le domaine d'étude qui étudie comment le système nerveux central détermine et coordonne les mouvements volontaires et non volontaires. (Latash et coll. 2002). Le système sensorimoteur contient de nombreuses et importantes sources de bruit (tableau 2) (p. ex. bruit sensoriel, bruit cellulaire, bruit moteur) qui contribue à la variabilité entre les essais du niveau moléculaire jusqu'au niveau comportemental (Faisal et coll. 2008).

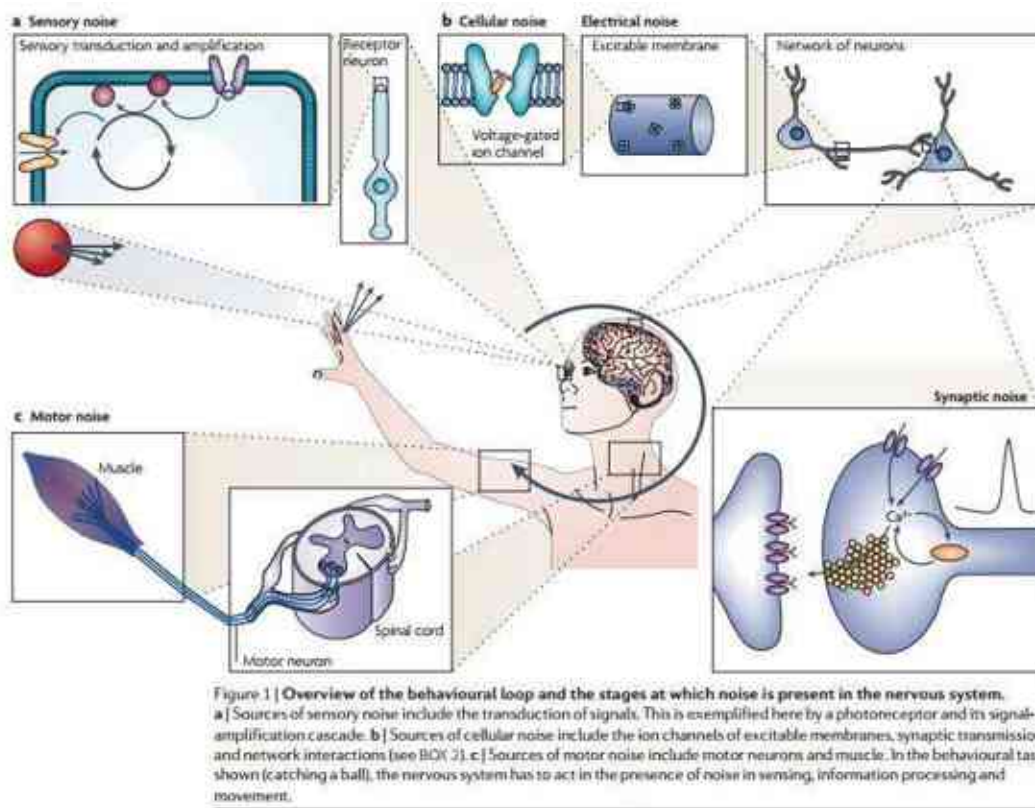
Entre deux essais, la variabilité peut également provenir des changements fonctionnels dans les paramètres utilisés pour produire le mouvement. (C.-à-d. les fonctions de coût) (Berret, Chiovetto, Nori et Pozzo, 2011).

L'abondance des degrés de liberté peut expliquer les variations subtiles du mouvement soulignant l'expressivité d'une émotion ou d'une humeur donnée (Kleinsmith et Bianchi-Berthouze, 2013). À un niveau plus distal, les différences interindividuelles par exemple le niveau d'expertise (Schorer et coll. 2007), l'âge (Newell et coll. 2009), le genre (Barrett et coll. 2008), les traits de personnalité (Luck et coll. 2009), aussi bien que la contrainte de la tâche (Diedrich et coll. 1995) et le contexte social (Glowinski et coll. 2013) modulent la variabilité du mouvement.

Deux sources majeures de la variabilité du mouvement proviennent de l'affect et du statut dans les interactions sociales.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

TABEAU 2 : LE BRUIT A DIFFERENTS NIVEAUX DU SYSTEME SENSORIMOTEUR. D'APRES FAISAL ET COLL (2008).



2.1.2 DE LA MESURE A L'ANALYSE

Depuis le fusil photographique de Marey, de nombreux outils ont été développés afin de permettre aux chercheurs d'étudier et de comprendre le mouvement humain.

Les domaines d'applications où l'analyse du mouvement prime sont de nos jours variés. Ne se limitant pas à l'industrie du divertissement (p. ex. jeux vidéo, films 3D), mais couvrant : la médecine, les sciences du sport et du mouvement, l'informatique et la psychologie (England, 2011). Le domaine d'étude est souvent pris en compte lorsque l'on souhaite choisir un outil d'analyse du mouvement cinématique approprié. Les études sur *le contrôle moteur* sont associées à la biomécanique et requièrent une précision maximale de la mesure (c.-à-d. <1mm). Dans ce type d'études, des outils d'analyse du mouvement (c.-à-d. système optoélectronique, mécanique, magnétique et capteurs inertiels) sont utilisés (figure 3). Même si leur coût reste élevé ces outils tendent à se démocratiser permettant à de plus en plus de laboratoires privés et publics de s'en équiper. Dans le domaine de *la psychologie* et de *l'interaction homme-machine*, il arrive que l'écologie soit préférée à la précision de la mesure. Ainsi, les chercheurs préfèrent utiliser des outils moins invasifs comme des caméras RVB (pour rouge vert bleu) classiques ou des caméras de profondeur (p. ex. KINECT de Microsoft). Ces dernières affichent une précision moindre (>1cm), sont limités dans le domaine fréquentiel (<30 images par seconde), mais permettent néanmoins une analyse des mouvements dans l'espace à trois dimensions (3D) plus le temps soit quatre dimensions (4D)

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

(Barnachon, 2012). Le mouvement humain se produisant par nature dans un espace en 4D ; les outils permettant ce niveau de capture sont préférés pour l'analyse du mouvement et sont regroupés dans la catégorie des outils de capture du mouvement (MOCAP).

Le mouvement dans son sens biomécanique

Le principe des outils optoélectroniques passifs de MOCAP (p. ex. Optitrack) est de triangulariser au cours du temps la position dans l'espace 3D des marqueurs passifs clefs positionnés sur le visage, le corps ou les doigts. Ces capteurs reflètent le rayonnement infrarouge produit et capté par les caméras. Une calibration en position des caméras dans l'espace 3D est préalablement nécessaire pour que celles-ci travaillent ensemble pour capturer dans un volume 3D prédéfini les positions selon le référentiel choisi. Si deux caméras sont au minimum nécessaire pour triangulariser une position d'un marqueur à un instant t , il faut généralement des configurations à plus de dix caméras pour éviter les occultations, augmenter la précision de la mesure tout en maximisant le volume de capture. Le post-traitement (p. ex. interpoler les trajectoires des marqueurs perdus, inverser deux marqueurs) en sera d'autant plus facilité. Le principal inconvénient de ce système est le glissement des marqueurs au regard de repères anatomiques précis. Afin de limiter les imprécisions sur la position des marqueurs relativement à ces repères anatomiques, les participants doivent porter des combinaisons ajustées au corps, et pour une précision maximale être nu sur les parties du corps où les marqueurs sont collés. Ceci peut être problématique pour l'écologie de la mesure. Le second inconvénient est le temps de post-traitement qui peut être très important (p. ex. plusieurs heures pour 1 minute d'enregistrement).

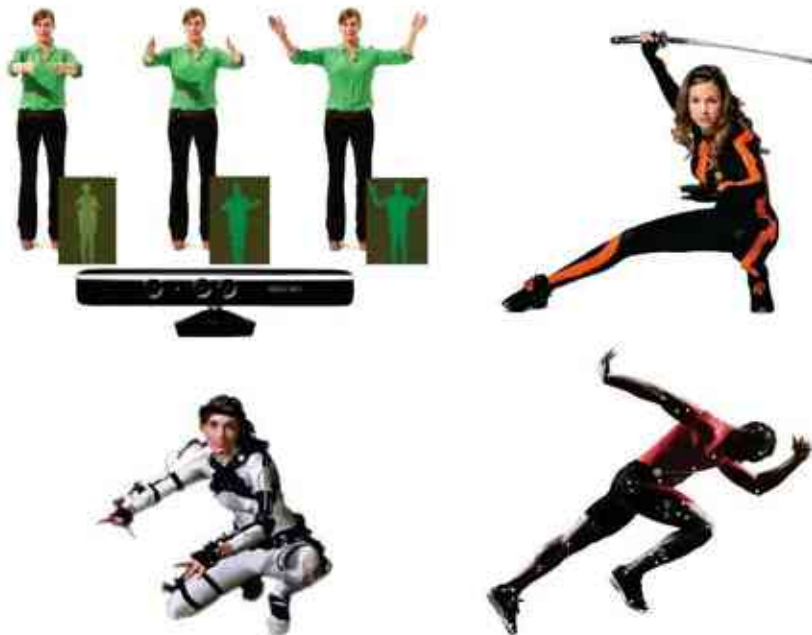


FIGURE 3 : DIFFERENTS OUTILS POUR LA CAPTURE DU MOUVEMENT.

De gauche à droite et de haut en bas : KINECT (caméra RGB et profondeur) – Xsens (inertiel) – Gypsy (inertiel et mécanique) – Optitrack (Optoélectronique)

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

Les données enregistrées permettent une représentation plus ou moins complexe des mouvements humains. Les données brutes (c.-à-d. la position 3D des marqueurs) sont le niveau le plus bas de mesure et également le moins erroné (avec une précision spatiale inférieure au millimètre). Certains auteurs ont déjà utilisé ce type de données en dérivant la mesure (c.-à-d. vitesse et accélération des marqueurs) ou en combinaison (p. ex. écartement entre 2 marqueurs) dans leurs analyses (Kapur et coll. 2005 ; Kleinsmith et Bianchi-Berthouze, 2007). Communément, un niveau plus haut est utilisé dans les études. Il consiste à modéliser le squelette humain en se servant de marqueurs (au minimum 3) pour créer des corps rigides représentant des segments corporels. L'association de plusieurs de ces corps rigides permet de recréer un squelette complet ou la rotation de chacun de ces corps rigides est expliquée dans le repère de leur parent. La racine (p. ex. la hanche) étant calculée dans le repère global. Ainsi, la rotation du coude est définie par l'orientation du segment de l'avant-bras dans le repère du bras. À l'heure actuelle, les modèles de squelettes permettent la représentation d'une vingtaine d'articulations (contre plus de 400 pour le corps humain) approximant ainsi grandement la mesure réelle (figure 4).

La rotation de ces articulations peut être représentée de différentes façons (c.-à-d. matrice de rotation, angles d'Euler, quaternions, représentation axe/angle, carte exponentielle) (Tilmanne, 2013). Les angles d'Euler ont l'avantage d'être facilement interprétables, mais possèdent l'inconvénient d'amener à des singularités lors de la mesure ; une même rotation pouvant être définie par plusieurs combinaisons d'angle (Grassia, 1998 ; Parent et coll. 2009). Il en va de même pour les représentations axe/angle et les cartes exponentielles qui sont toutes deux définies dans l'espace euclidien. Les quaternions sont quant à eux un moyen d'éviter les singularités, mais ne permettent pas de travailler dans l'espace euclidien. Ils ont de plus une représentation très difficilement interprétable. Il est ainsi important de prendre des précautions sur les calculs et le traitement du signal appliqués à ces différentes représentations mais aussi de vérifier le sens biomécanique de chacun des degrés de liberté associés aux articulations.

Dans la grande majorité des études, les angles d'Euler sont utilisés pour analyser le mouvement (Rosenhahn et coll. 2007). D'autres études utilisent des paramètres ou des niveaux de calcul différents en combinant et associant suivant différentes équations les informations de positions et/ou de rotations. (Glowinski et coll. 2011) ont utilisé des algorithmes permettant de combiner les paramètres spatio-temporels du mouvement afin de créer de nouvelles variables plus globales, de plus hauts niveaux. Ces paramètres objectifs sont dits expressifs.

Le mouvement : un sens expressif ?

Les mouvements du corps représentent un espace de configuration dimensionnel élevé avec de nombreux degrés de liberté interdépendants. Une approche bas niveau fournit des paramètres cinématiques objectifs (p. ex. angles des articulations, positions des membres, vitesse et accélération des membres et des articulations). Compte tenu de la complexité du mouvement humain ces mesures bien que précises et continues sont difficiles à collecter et l'interprétation qu'elles apportent est limitée.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

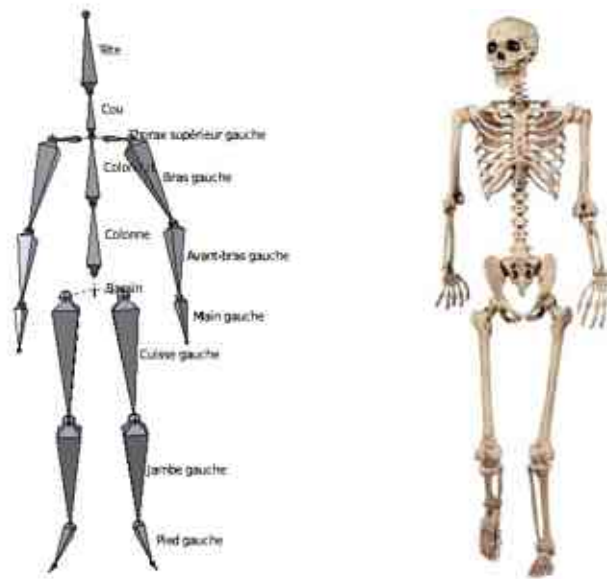


FIGURE 4 : SQUELETTE D'HUMAIN VIRTUEL VERSUS SQUELETTE HUMAIN.

À gauche, le squelette de 18 articulations recréé par le logiciel Motive (Optitrack) est importé dans BLENDER ? À droite, un squelette humain adulte.

Au début de cette partie, a été introduit un niveau d'analyse portant sur des variables subjectives. Les premières études qualitatives sur le mouvement chez les humains et les animaux d'un point de vue expérimental datent du 19^e siècle (Charles Darwin). Née de l'observation, cette façon d'analyser le mouvement reste actuelle. Aujourd'hui, les variables haut niveau sont obtenues par des techniques utilisant des caméras et des observateurs/annotateurs entraînés ou non pour coder manuellement les vidéos enregistrées. Les annotateurs fournissent ainsi au moyen de logiciel (p. ex ELAN (Hellwig et Uytvanck, 2004) ; Anvil (Kipp, 2001)) des annotations subjectives de différents paramètres (p. ex. types des comportements, qualités des mouvements perçues). Après des analyses statistiques de cohérence de survenue de ces annotations parmi les différents observateurs, ces mesures sont prises comme variables dépendantes dans les statistiques inférentielles. Les variations subtiles de positions de vitesses ou d'orientation (prises isolées ou combinées) peuvent être mal perçues par les annotateurs. Ces annotations / variables subjectives sont néanmoins plus proches du domaine de la perception humaine et facilitent par la même leurs interprétations. Les études les utilisant sont nombreuses.

Les recherches modernes en psychologie et en linguistique basées sur des observations systématiques ou des expérimentations ont commencé au milieu du XX^e siècle avec les travaux d'Efron (Efron, 1941). Trois principaux chercheurs (c.-à-d. (Paul Ekman, 1969), (Kendon, 2004) et (McNeill, 1992)) ont également apporté des contributions significatives aux recherches sur les gestes dans le domaine de la psycholinguistique (essentiellement les gestes des mains). De nombreux auteurs ont introduit la notion de qualité du mouvement (Wallbott, 1998) qui a l'avantage de se situer à un niveau intermédiaire et d'être quantifiable par la mesure objective tout en étant intrinsèquement subjectif (c.-à-d. pouvant être annotés par des observateurs)(Wallbott 1998). Le système « Laban Movement Analysis » (LMA) de notation proposé par Laban (Laban et Ullmann, 2001) est un de ces cadres d'études utilisés dans l'analyse des mouvements corporels et des formes en danse avec une approche centrée sur la qualité du mouvement. LMA est composé de quatre principales catégories (le corps, l'effort, la forme, l'espace) qui qualifient le corps en mouvement dans le respect de ses intentions internes. Le

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

sous-domaine effort-forme a reçu un intérêt considérable dans sa façon de décrire les configurations corporelles et les qualités du mouvement. (Dell, 1977 ; Levy et Duke, 2003). L'effort est composé de quatre composantes bipolaires incluant le spatial (indirect/direct), le poids (faible/fort), le temps (soutenu/soudain) et le flux (libre/retenu). La forme quant à elle fait référence à la façon dans le corps se sculpte dans l'espace (Laban et Ullmann, 2001).

Un grand nombre de chercheurs ont appliqué les théories du LMA dans le cadre d'étude sur le mouvement dans des domaines divers comme l'action, le drame , la chorégraphie , la psychologie , l'ergonomie , l'anthropologie, la thérapie clinique et physique, les techniques de communication verbale et non verbale et les compétences de présentation, la gestion des comportements (Chi et coll. 2000) ainsi que dans le cadre d'étude des interactions homme-machine (IHM) (Hartmann et coll. 2005) (détaillé plus loin)

De récents travaux (Glowinski et coll. 2011 ; Kapadia et coll. 2013 ; Samadani et coll. 2013) ont proposé une quantification automatique des qualités du mouvement. Cela est rendu possible par la dualité de nature de celles-ci qui sont à la fois des descriptions subjectives, mais également des calculs portant sur la quantification des fluctuations de la dynamique du mouvement basés sur des informations cinématiques. Ces auteurs ont ainsi implémenté des équations dans l'espace 4D pour calculer des ST mettant en relation les indices d'effort et de forme du LMA. La figure 5 regroupe les principaux axes du LMA et les ST correspondantes.

Un exemple concret du calcul de la ST de l'effort poids, appelée énergie, est donné par Glowinski et coll (2011) par l'équation 1. Le calcul de l'énergie prend en entrée la masse des segments (m_i) ainsi que la vitesse de ceux-ci (V_i).

EQUATION 1 : EQUATION DE LA SERIE TEMPORELLE ENERGIE.

$$E_{tot}(t) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i * V_i(t)^2$$

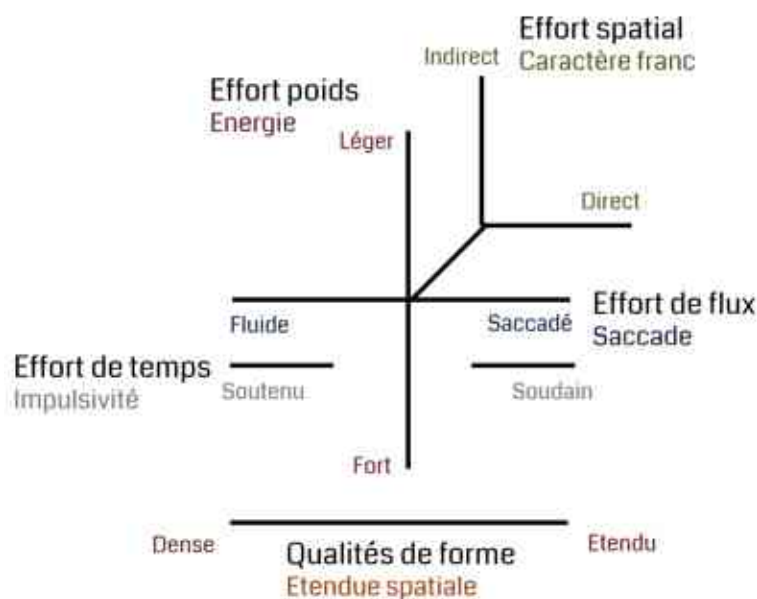


FIGURE 5 : ESPACE DE L'EFFORT ET DE LA FORME DANS LMA.

Les adjectifs qualifiant subjectivement les mouvements et les ST correspondantes entre parenthèses sont reportés.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

Ces variables d'analyses fournissent un cadre d'étude conceptuel combinant à la fois la description qualitative et quantitative des caractéristiques du mouvement. Un second avantage est l'interprétation et l'explication du mouvement nécessitant un nombre relativement faible de paramètres.

2.1.3 SYNTHÈSE

Les technologies de capture du mouvement et ses applications sont nombreuses. Les avantages et inconvénients de chaque système sont à considérer avec les buts de l'étude. Le choix des référentiels dans lesquels les données sont analysées doit également être pris en compte en fonction des contraintes et des applications. La plupart du temps la position des marqueurs, mais également les rotations dans l'espace d'Euler sont utilisées, mais il est parfois nécessaire de changer d'espaces en fonction du traitement du signal choisi.

Il existe plusieurs niveaux d'analyse en partant des données brutes. L'expressivité est idéale pour étudier les relations entre les variables perceptives et objectives ainsi que pour l'interprétabilité de la mesure. Plusieurs expressivités et ST associées sont tirées du travail de Laban (c.-à-d. énergie, caractère direct et étendue spatiale). Il en existe néanmoins d'autres (p. ex. la rigidité).

Pour une tâche donnée les raisons d'une variabilité intra-individuelle importante du mouvement chez l'humain sont les affects et les interactions.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

2.2 L'AFFECT : UNE SOURCE DE VARIABILITE INTRA-INDIVIDUELLE DU MOUVEMENT

Une émotion est définie comme « un épisode relativement bref et multi composant (c.-à-d. cognitif, moteur, physiologique et phénoménologique) qui facilite une réponse à un évènement important pour l'organisme » (Davidson et coll. 2009). L'humeur est plus longue et moins intense. Le terme affect est défini dans le dictionnaire de psychologie (Colman, 2008) comme un comportement qui exprime un état de sentiment vécu subjectivement. Panksepp (Panksepp, 2000), définit ce terme comme la partie consciente d'une émotion. L'affect est sensible à l'évolution des états émotionnels alors que l'humeur se réfère à une émotion omniprésente et durable. Le plaisir, le mécontentement, la crispation, la relaxation, l'énergie et la fatigue sont des affects (Ekkekakis 2013). L'affect peut être un composant des émotions et des humeurs (Russell 2003) ; *"pride can be thought of as feeling good about oneself. The 'feeling good' is core affect and the 'about oneself' is an additional (cognitive) component"*. Le terme affect sera utilisé dans ce travail car il se réfère à l'évaluation subjective.

Une source importante de variabilité intra-individuelle du mouvement humain est l'affect. Ces ressentis sont souvent accompagnés par des expressions corporelles visibles ou non par les autres (cf. 2.2.4).

2.2.1 DIFFERENTES THEORIES ET CLASSIFICATIONS

Les émotions sont étudiées au travers d'une vaste variété d'approches théoriques (Scherer, Bänziger et Roesch, 2010). D'après (Strongman, 2003), 150 théories différentes sont décrites. Parmi les plus communes (figure 6); la théorie de James-Lange formulée en 1884 (Dixon, 2003) propose que le stimulus conduise à un changement physiologique entraînant une émotion. Dans les années 1920, la théorie de Cannon-Bard (Canon, 1927) propose un chemin moins linéaire puisque le stimulus conduirait dans un même temps à un changement physiologique et à une émotion. Les théories cognitives les plus connues sont la théorie en deux facteurs de Stanley Schachter (Schachter, 1962) et la théorie cognitive médiée proposée par Lazarus (Lazarus, 1991). Dans la première ; le stimulus entraîne un changement physiologique qui est analysé par les processus mentaux, ceux-ci amènent à ressentir l'expérience de l'émotion labélisée. Dans la seconde, le stimulus analysé comme une signification personnelle subjective par les processus mentaux entraîne des changements physiologiques et une émotion.

La théorie de la réaction faciale (Ekman, 1983) stipule que les émotions découlent des changements d'état de nos muscles faciaux après un stimulus. Ainsi, tout comme la théorie de James-Lange, une émotion naîtrait de l'activité corporelle en réponse à un stimulus émotionnel. Cette théorie rejoint donc le processus « top-down » du concept d'embodiment. L'exposition à un stimulus émotionnel influencerait le comportement.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

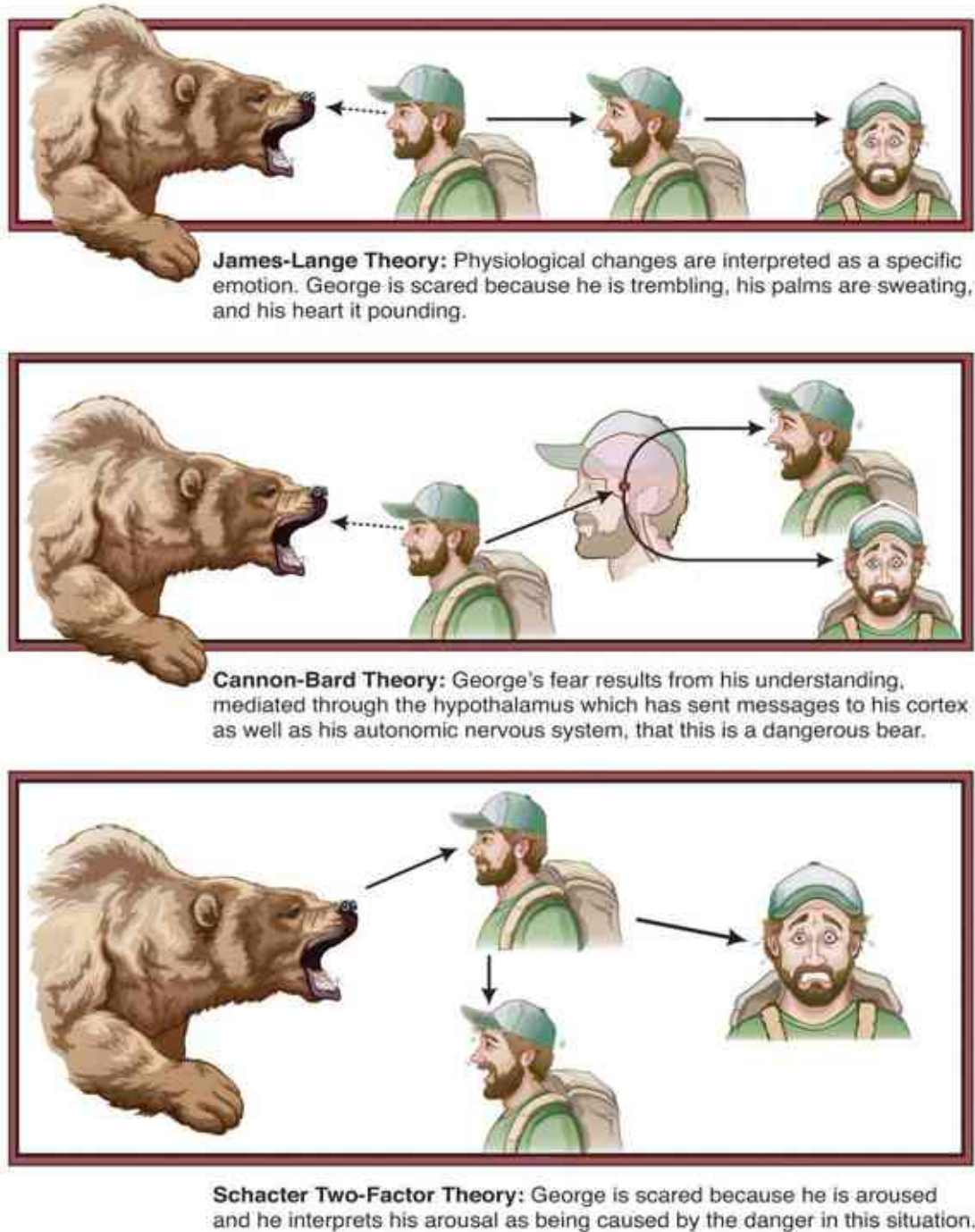


FIGURE 6 : LES THEORIES DES EMOTIONS LES PLUS RENCONTREES.

De profil : changement physiologique et moteur – de face : expérience de peur. Tiré de <http://agedivad.ux1.eu/james-lange-theory-of-emotion-states-that.php>

Si les liens entre les expériences sensorielles physiologiques / biomécaniques et les émotions ne sont pas encore bien établis, il en va de même pour la classification des affects.

Les théoriciens des émotions discrètes les considèrent comme des instances d'états uniques et séparés (p. ex. colère ou joie). Récemment (Jack et coll. 2014) proposent quatre émotions dans leur modèle (c.-à-d. joie, tristesse, peur/surprise (c.-à-d. approche rapide du danger et dégoût/colère (c.-à-d. danger stationnaire)). Le tableau 3 regroupe les théoriciens des émotions discrètes.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

TABEAU 3 : THEORIES DES EMOTIONS DISCRETES EN FONCTIONS DU NOMBRE D'EMOTIONS PRIMAIRES.

Adaptée de Ortony et Turner (1990).

Auteurs	Émotions basiques	Bases pour l'inclusion
(Arnold, 1960)	Colère, aversion, courage, abattement, désir, désespoir, peur, haine, espoir, amour, tristesse.	Relation aux tendances à l'action.
(Ekman, 1983)	Colère, dégoût, peur, joie, tristesse, surprise.	Expressions faciales universelles.
(Frijda, 1987)	Désire, bonheur, intérêt, surprise, émerveillement, chagrin.	Formes de préparations à l'action
(Gray, 1982)	Rage et terreur, anxiété, joie.	Câblé (évidence neurophysiologique et anatomique)
(Izard, 1971)	Colère, mépris, dégoût, détresse, peur, culpabilité, intérêt, joie, honte, surprise.	Câblé
James 1884 dans (Canon, 1927)	Peur, chagrin, amour, rage.	Engagement du corps
(Mcdougall, 1908)	Colère, dégoût, allégresse, peur, soumission, tension, émerveillement.	Relation aux instincts
(Mowrer, 1960)	Douleur et plaisir.	États émotionnels non appris
(Oatley et Johnson-laird, 1987)	Colère, dégoût, anxiété, tristesse, surprise.	Ne nécessite pas un contenu propositionnel (je ressens l'émotion, mais je ne sais pas pourquoi).
(Panksepp, 1982)	Espoir, peur, rage, panique.	Câblé
(Plutchik, 1980)	Acceptante, colère, excitation, dégoût, joie, peur, tristesse, surprise.	Relation aux processus biologiques adaptatifs.
(Watson, 1930)	Peur, amour, rage.	Câblé
Weiner et Graham 1984 dans (Carroll et coll. 1984)	Bonheur, tristesse.	Attribution indépendante

A contrario, les approches dimensionnelles de l'affect se concentrent sur, comment, est éprouvé le monde. La plupart des théoriciens se conforment à la vision que les émotions labélisées sont apprises (Fox, 2008). Ces approches définissent les affects en fonction de plusieurs axes continus (Coan et Allen, 2007).

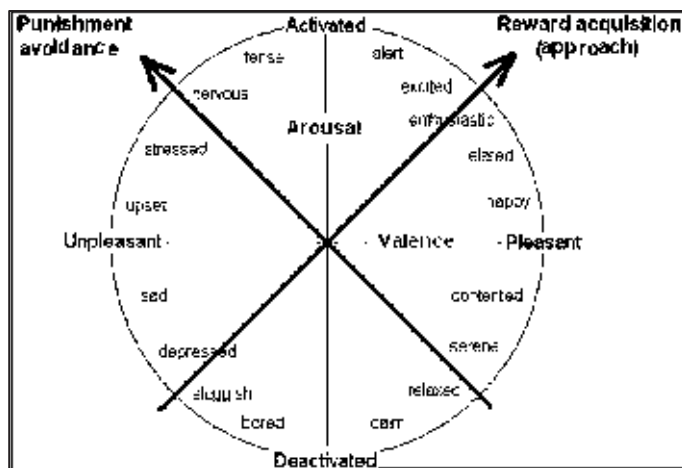


FIGURE 7.a et 7.b : DIFFERENTS MODELES DIMENSIONNELS.

La valence (agréabilité) et l'arousal (activation) sont majoritairement les dimensions employées (Russell et coll. 1989). La tendance à l'approche et à l'évitement (figure 7.a) peut être une façon alternative de construire l'espace des affects (Mendl et coll. , 2010) La dominance est une troisième dimension souvent considérée (Mehrabian, 1996) (figure 7.b).

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

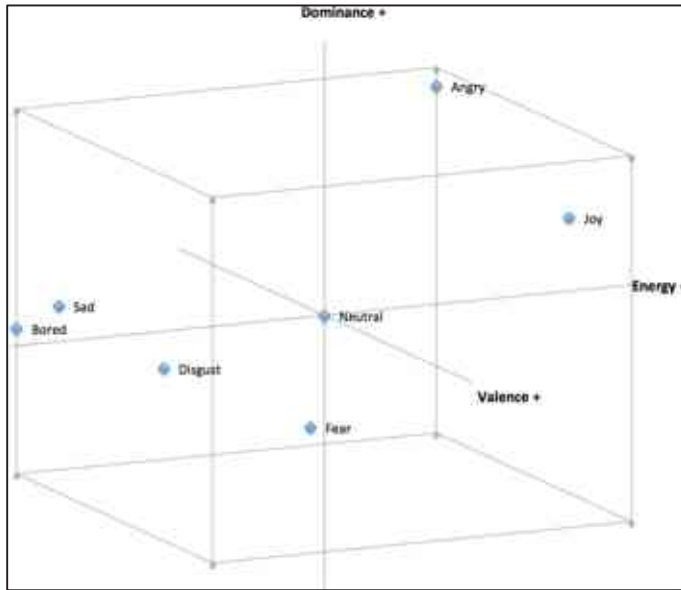


FIGURE 7.a et 7.b : DIFFERENTS MODELES DIMENSIONNELS.

La théorie des émotions discrètes est l'approche dominante, notamment pour l'étude des expressions faciales discrètes. Les expressions corporelles affectives étant quant à elle significativement interprétées au travers de l'utilisation des dimensions affectives (Kleinsmith et Bianchi-Berthouze, 2013). Étant plus continues dans leurs analyses des affects et des comportements, ces dernières apparaissent plus en ligne avec les interprétations théoriques basées sur les tendances à l'action des composantes de l'émotion (Frijda, 1987) ou sur la description des émotions comme des états changeant dynamiquement (Sheets-Johnstone, 2010). Le concept de tendance à l'action fait partie des fonctions adaptatives des émotions permettant à une personne d'agir en conséquence dans un environnement défini. Ces théories sont le fruit d'études expérimentales sur l'impact des émotions dont les principaux obstacles méthodologiques restent la capacité à éliciter les affects (Coan et Allen, 2007) et à évaluer la pertinence de ces élicitation.

2.2.2 ÉLICITATION DES AFFECTS

Pour évaluer l'impact des affects sur les expressions corporelles, il est impératif de s'assurer que ceux-ci sont ressentis. Or, nombre d'études se basent sur des acteurs professionnels (Omlor et Giese, 2007; Pollick et coll. 2001) ou non professionnels (Bernhardt et Robinson, 2007) pour jouer les émotions entraînant ainsi des comportements stéréotypiques et un donc un taux de reconnaissance élevé.

Les affects positifs apparaissent plus compliqués à éliciter que les affects négatifs (Westermann, 1996). De nombreuses procédures expérimentales ont été conçues pour induire des phénomènes affectifs plus spontanés (Coan et Allen, 2007). Ces protocoles font appelle au processus « top-down » et n'impliquent pas vraiment le participant, dans le sens où il n'y a pas d'engagement de sa part dans un contexte social.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

- La procédure d'humeur Velten. Exemple : lire et essayer de ressentir l'humeur suggérée par six phrases (Gilet, 2008).
- La musique. Exemple : une musique triste (Van Dyck et coll. 2013).
- L'élicitation par mémoire autobiographique. Exemple : faire se rappeler au participant au moment de l'action un souvenir en lien à l'émotion ciblée (Gross et coll. 2010).
- L'élicitation par visionnage de photos IAPS. Exemple : des photos de mutilations (Lang, 2008).
- L'élicitation par visionnage de films (Rottenberg et coll. 2007). Exemple : un film effrayant.
- L'élicitation par contrainte de l'environnement. Exemple : Mettre le participant dans un environnement entraînant l'émotion ciblée ; anxiété en étant près du vide.
- L'hypnose (Bower, 1981).
- Les cadeaux (Nummenmaa et Niemi, 2004).
- Les odeurs (Ehrlichman et Halpern, 1988).

Dans le cas de l'étude de la variation de mouvement, les études précédentes utilisaient des paradigmes de mémoire autobiographique (Barliya et coll. 2013 ; Crane et coll. 2009 ; Kang et Gross, 2011 ; Gross et coll. 2010), de la musique (Michalak et coll. 2009 ; Van Dyck et coll. 2013) et des jeux vidéo (Savva et Bianchi-Berthouze, 2012).

Illustrant l'importance du fait de ressentir l'émotion (Kang et Gross, 2011) ont observé que la cinématique des participants était différente entre les essais pour lesquels les émotions étaient ressenties et, spontanées, comparées à celles qui étaient seulement actées. Ce dernier point soulève la question de l'évaluation objective et subjective de l'affect des participants.

2.2.3 ÉVALUATION

L'état affectif est classiquement évalué en utilisant des questionnaires (voir (Nummenmaa et Niemi, 2004) pour une revue). Néanmoins, les questionnaires ne prennent en compte que la partie consciente de l'affect (subjectif) (Gilet, 2008). Pour surmonter ce problème, les chercheurs combinent les questionnaires avec des outils physiologiques dans leurs expériences évaluant ainsi les signaux biologiques (objectifs) en relation avec les émotions (Gunes et Pantic, 2010).

Les outils physiologiques

De nombreuses recherches en psychophysiologie montrent l'activation, les changements dans le système nerveux central autonome lors de l'élicitation d'affects (Levenson et coll. 1991). Ces changements sont la preuve invisible de l'impact des émotions et font directement référence aux signaux physiologiques.

Parmi ceux-ci, certains sont corrélés avec la valence. Les variables électromyographiques (EMG) et l'électroencéphalographiques (EEG) corréleraient avec les émotions négative (Haag et coll. 2004).

La fréquence cardiaque (FC) augmente avec les émotions négatives comme l'anxiété ou la peur tandis qu'une fréquence cardiaque plus basse est le signe d'un état de relaxation.

D'autres signaux sont corrélés avec l'arousal. C'est le cas de la réponse électrodermale (EDA) et de la fréquence respiratoire (FR). (Chanel et coll. 2007) ont montré une corrélation positive entre l'arousal et l'EDA ainsi qu'une corrélation positive entre l'arousal et la FR. Un rythme irrégulier avec des variations rapides est le signe d'émotions fortes (colère, peur).



Le Qsensor (figure 8) est un exemple d'outil portable permettant d'analyser l'EDA. Ces électrodes calculent la résistance que la peau oppose au passage du courant. La résistance diminue quand la peau est moite (signe physique de l'activation des glandes sudoripares et donc du système nerveux sympathique).

FIGURE 8 : LE QSENSOR.

Néanmoins, ces signaux ne capturent qu'une partie des états affectifs et exploiter leurs complets potentiels demeure impossible compte tenu du manque de consensus entre les psychologues. En effet, la nature, les théories, les modèles et la spécificité des patrons physiologiques en fonction de chaque dimension de l'espace des affects restent sujet à débat (Gunes et Pantic, 2010).

Questionnaires

Il existe de nombreuses différences dans la façon de classer les émotions ainsi que de nombreux termes utilisés pour désigner les états affectifs. La construction des questionnaires d'évaluation de ces affects est également sujette à discussion. En vingt ans, plus de vingt types de questionnaires ont été construits et utilisés (voir Ekkekakis (2013) pour une revue).

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

Les questionnaires mesurant une dimension avec un seul item restent marginaux, mais sont utilisées pour minimiser la fatigue des répondants dans les protocoles nécessitant un nombre important de mesures. Elles peuvent être source d'erreurs dues au caractère unique de la réponse et sont, de ce fait, moins fiables. Le « Differential Emotion Scale » (DES), traduit en français permet, suivant la version, d'évaluer un groupe d'émotions discrètes au moyen de nombreux items (Ouss et coll. 1991). Les items pouvant être regroupés suivant les analyses factorielles en plusieurs dimensions bipolaires (Osgood et coll. 1967 ; Lorr et Shea, 1979). Le « self assessment Manikin » SAM permet d'évaluer quant à lui trois dimensions des affects : valence, arousal et dominance (figure 9). Le SAM existe en différentes versions d'échelle de Likert (c.-à-d. 5,7 et 9 valeurs). La grille d'affect, proposée par (Russell et coll. 1989) est développée sur la base du modèle circomplexe du même nom permet d'évaluer deux scores : un pour le plaisir (valence) et l'autre pour l'arousal.

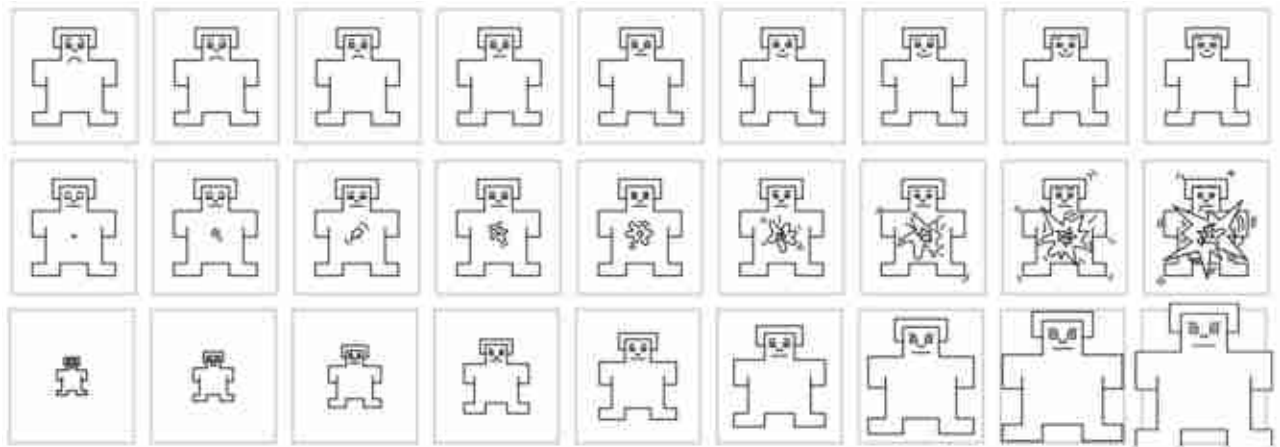


FIGURE 9 : PICTOGRAMMES DE SAM.

Utilisés pour guider le participant dans son auto-évaluation de la valence, l'arousal et de la dominance.

La foisonnance et la disponibilité de ces questionnaires démontrent une littérature vaste sur les méthodes d'analyses des affects ; eux-mêmes étant caractérisés par des modèles et théories multiples.

Le choix du questionnaire adéquat devra être guidé par le protocole, les analyses et les hypothèses de recherche.

2.2.4 LES LIENS ENTRE LES AFFECTS ET LE MOUVEMENT

Les relations complexes qui existent entre les mouvements du corps et les affects étaient déjà étudiées depuis longtemps (Darwin, 1872) parmi les humains et les animaux (figure 10). Au cours des dernières décennies, ce sujet a connu un regain d'intérêt dans de multiples domaines tels que la psychologie (Niedenthal, 2007), l'informatique affective (Kleinsmith et Bianchi-Berthouze, 2013) et les neurosciences (de Gelder, 2009).

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART



FIGURE 10 : MOUVEMENTS ET POSTURES CHEZ DES CHIENS SUIVANT LEURS INTENTIONS.
D'après Darwin (1872).

Cette expression corporelle des émotions a été étudiée dans l'essentiel sur le visage, canal depuis longtemps considéré comme privilégié (Coulson, 2004). Cependant, il existe une littérature qui aujourd'hui se développe sur l'étude du canal du corps dans son ensemble et qui du fait de ses nombreux degrés de liberté semble plus à même d'exprimer des états complexes (Montepare et coll. 1999).

L'hypothèse d'une base neurobiologique des émotions est le point de départ d'un impact possible de celles-ci sur l'expression corporelle. La théorie de l'émotion incarnée (Niedenthal, 2007) montre que le lien entre corps et émotion est bidirectionnel. Ce lien pose donc d'emblée le problème du choix de la tâche dans le protocole d'étude. Par conséquent, la nature des mouvements pratiqués pendant la tâche expérimentale doit être soigneusement choisie en accord avec le but de recherche. Les variations du mouvement pouvant être analysées suivant plusieurs niveaux et degrés d'interprétabilité, il est également primordial de choisir au mieux les paramètres pouvant les discrétiser en fonction des affects.

La tâche dans les protocoles d'élicitation

Les affects peuvent s'exprimer durant des gestes particuliers (emblématiques), ils peuvent aussi s'exprimer durant des gestes non emblématiques pendant lesquels le mouvement est modifié par l'affect ressenti. Ainsi, les expressions corporelles peuvent exprimer une émotion spécifique ou, par leur modification, l'évoquer (c.-à-d. concepts « top-down » et « bottom-up » de l'embodiment). Le choix de la tâche devient donc une question difficile du fait de la causalité circulaire existant entre le mouvement et les affects.

Tandis que les études démontrant l'influence "top-down" de l'émotion sur le mouvement sont nombreuses (Kleinsmith et Bianchi-Berthouze, 2013); les études sur l'émotion incarnée le sont moins. Ces études suggèrent qu'expérimenter une émotion peut provenir des aspects perceptuels, moteurs et somatovicéraux (Bosse, Jonker, et Treur, 2008 ; Niedenthal, 2007). En accord avec la théorie de James-Lange, l'impact « bottom-up » du mouvement sur l'émotion a été mis en évidence au travers de différents protocoles. (Laird et Lacasse, 2014) ont montré que les actions motrices influençaient l'évaluation d'un stimulus affectif ou les souvenirs émotionnels (Casasanto et Dijkstra, 2010).

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

Une approche commune pour limiter l'influence « bottom-up » du mouvement sur l'état affectif des participants est d'utiliser une tâche fonctionnelle où le mouvement a un but ordinaire. De telles actions sont par exemple : la marche (Crane et coll. 2009 ; Venture, 2010 ; Barliya et coll. 2013 ; Omlor et Giese, 2007 ; Karg et coll. 2009 ; Roether et coll. 2009), taper à une porte (Gross et coll. 2010 ; Bernhardt et Robinson, 2007) ou boire (Pollick et coll. 2001).

Quelles variables dépendantes ?

De nombreux chercheurs ont considéré les expressions corporelles de manière discrète, proposant par exemple des systèmes de codage pour les gestes de la main (McNeill, 2008) ou pour les postures corporelles (Bull, 1987 ; Dael et coll. 2012). Les variations continues du mouvement induites par les affects ont été moins étudiées (Kang et Gross, 2011). Une option alternative est donc d'utiliser la dynamique du comportement humain. La cinématique du mouvement peut-être définie comme la façon par laquelle les mouvements humains sont exécutés dans le respect des dimensions de temps et d'espace (Wallbott, 1998). La façon dont le mouvement est effectué n'est pas nécessairement expressive (qui impliquerait une intention de communiquer), mais plutôt distinctive. La contribution du mouvement seul dans la communication des indices sociaux a notamment été mise en évidence avec les expériences d'affichages de point lumineux développés par (Johansson, 1973).

Considérant l'influence « top-down » des émotions, les études utilisant la MOCAP pour analyser les mouvements de façon objective sont peu nombreuses. Les calculs dits bas-niveaux des paramètres cinématiques sont ici utilisés comme des paramètres discriminants. Les paragraphes suivants sont un tour d'horizon des études utilisant ces paramètres.

(Pollick et coll. 2001) ont analysé la vitesse moyenne du poignet en fonction de plusieurs conditions émotionnelles. En regroupant les émotions dans l'espace psychologique des affects (utilisant la procédure « multidimensional scaling » (Kruskal et Wish, 1978), les auteurs ont mis en évidence que la vitesse moyenne du poignet augmentait en fonction de l'arousal. Les émotions colère et joie étaient comparées à tristesse, faiblesse et fatigue. La seconde dimension « pleasantness » (correspondant à la valence) n'a pas pu être reliée aux indices cinématiques.

(Shikanai et coll. 2013) ont évalué la cinématique du doigt avec des résultats similaires : la vitesse maximale et l'accélération maximale des doigts étaient caractéristiques des émotions à haut arousal (respectivement colère > joie > tristesse). En analysant le parcours maximal fait par les doigts (dans l'étude appelée caractère direct), les auteurs ont trouvé que cet indice permettait de discriminer joie et tristesse. La joie étant qualifiée par une distance plus importante.

(Michalak et coll. 2009) ont montré l'impact de la dépression, des humeurs positives et négatives sur la marche. Les principaux résultats de cette étude étaient une réduction de la vitesse de la marche, du balancement des bras, des mouvements verticaux de la tête ainsi que des mouvements latéraux du haut du corps plus large pour la tristesse et la dépression par rapport à l'émotion positive.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

Au cours de la même année (Roether et coll. 2009) montraient dans leur étude un changement de posture sur les rotations de diverses articulations (tête, colonne, épaule, coude, hanche et genou). Par rapport à la condition neutre, les conditions de joie et colère menées à une augmentation de l'amplitude des articulations contrairement à tristesse et peur qui menaient à une réduction.

(Crane et coll. 2009) ont mis en évidence qu'une élévation de l'arousal correspondait à une augmentation de la fréquence de changement dans les mouvements articulaires associant ainsi l'arousal avec la vitesse angulaire articulaire.

Dans l'étude de (Stins et coll. 2011), les participants mettaient plus de temps à initier un pas en avant face à un visage avec une expression de colère que face à un visage souriant ainsi qu'une réduction du balancement spontané du corps précèdent le pas lorsque l'affichage était incongruent.

(Burger et coll. 2012) ont montré que les participants se penchaient en avant durant des musiques élicitant la tension. Quand la musique élicitait de la colère, les participants avaient des mouvements plus saccadés et affichaient moins de rotations autour de l'axe vertical du corps. La musique joyeuse dévoilait des rotations supérieures aux autres émotions. Enfin, les participants utilisaient plus de dimensions (mouvement plus complexe) quand la musique était joyeuse comparées aux autres émotions et affichaient des mouvements moins complexes pour la tristesse.

En accord avec ce résultat (Barliya et coll. 2013) ont observé que les participants apparaissaient plus énergiques pour les émotions joie et colère que pour la tristesse et la peur. Également en relation avec la vitesse, les participants tendaient à se mouvoir plus rapidement pour la joie et la colère que dans les conditions de peur et tristesse.

(Kang et Gross, 2011) se sont intéressés aux variations de réponse motrice si l'émotion était ressentie ou non. Ils ont montré que la vitesse de la marche était supérieure de 7% lors d'une colère ressentie et baissée de 10% lors d'une tristesse ressentie. Les auteurs n'ont pas trouvé de résultat pour joie et satisfaction par rapport aux mêmes émotions actées. L'amplitude du mouvement (ROM) de l'épaule, du coude et du poignet diminuait de 9, 18 et 20% respectivement quand la tristesse était ressentie comparée à une tristesse actée. ROM de la hanche diminuait de 5% pour la tristesse quand elle était ressentie et augmentée de 5% quand la colère était ressentie. ROM de la rotation du tronc diminuée de 13% pour une tristesse. ROM du genou et de la cheville était similaire entre les groupes ressenti et non ressenti pour toutes les émotions. ROM pour les épaules étaient plus élevées quand la tristesse et la colère étaient ressenties et étaient plus basses quand la joie et la satisfaction étaient ressenties comparées aux mêmes émotions actées. Enfin, la moyenne des angles du thorax était moindre pour une tristesse et une colère ressentie, en comparaison avec ces mêmes émotions actées et plus élevée quand la satisfaction était éprouvée en comparaison de la satisfaction jouée par les participants.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

L'expressivité du mouvement comme variables pour l'analyse de l'affect

Les qualités du mouvement sont une description subjective de la dynamique du mouvement basées sur les informations cinématiques que celles-ci transmettent. Elles peuvent être décrites en quelques dimensions (voir ci-après). Depuis plusieurs années, des quantifications cinématiques ont été proposées. Ces mesures objectives de la cinématique humaine sont souvent reliées à leur dynamique interne (Runeson et Frykholm, 1983). L'excellent potentiel des qualités du mouvement comme une modalité de communication repose sur la perception directe des forces et des contraintes internes (dynamiques) et de leur association avec les intentions (tendance à l'action) et les émotions.

Une approche pour étudier les qualités du mouvement a été d'analyser sémantiquement la description cinématique subjective des comportements humains (Wallbott, 1998 ; Gallaher, 1992 ; Shikanai et coll. 2013). Les approches structurelles proposent des systèmes de notations adaptés pour la description détaillée des dynamiques du mouvement (Birdwisthell, 1975 ; Sheets-Johnstone, 2010).

De nombreuses quantifications basées sur des variables cinématiques (voir section 2.1.2) de ces qualités du mouvement ont été proposées. (Camurri et coll. 2003) proposent une quantification du domaine effort de Laban via des algorithmes basés sur la vision par ordinateur (enregistrement des données par vidéo). Spatial, poids, temps et flux sont automatiquement calculés comme des séries temporelles issues de l'activité et de l'expansion du corps. D'autres solutions dans l'espace à quatre dimensions ont été envisagées : au moyen de la KINECT (Piana et coll. 2013) ou d'autres outils de capture du mouvement (Samadani et coll. 2013 ; Van Dyck et coll. 2013), en complément des qualifications basées sur les travaux de Wallbott (Wallbott, 1998) ou de Gallaher (Gallaher, 1992).

Avec des mouvements exécutés avec l'intention d'afficher différentes qualités du mouvement, (Meijer, 1989) distinguait trois dimensions : rejet – acceptance en relation avec la force et la caractère direct du mouvement; approche - évitement associé avec le fait de bouger vers l'intérieur ou vers l'extérieur et préparation – « defeatedness » associé avec la surprise et mis en relation avec des mouvements rapides et directs.

La cinématique des expressions corporelles des émotions a souvent été étudiée dans l'analyse de la marche. La vitesse étant le principal paramètre discriminant (Roether et coll. 2009). Ainsi (Crane et coll. 2009), notent que la quantité de mouvement augmentait quand le niveau d'arousal augmentait. La plus grande variabilité étant observée avec la colère.

(Gross et coll. 2012) ont observé l'impact de cinq émotions sur les mouvements de marche. Leurs résultats suggèrent trois différents styles de mouvement correspondant à différents niveaux d'arousal. Le style avec haut niveau (Joie, colère) partageait les mêmes paramètres pour la plupart des qualités « effort-shape ». Contrôle et content étaient associés avec un autre groupe de qualités partagées. Enfin, les émotions avec un bas niveau d'arousal (tristesse) étaient associées avec un dernier groupe.

Globalement, l'association entre la force de l'affect (arousal) et la combinaison de hautes vitesses, forces, caractère direct et étendue spatiale est un résultat récurrent (Wallbott, 1998 ; Montepare et coll. 1999 ; Gross et

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

coll. 2010 ; Gross et coll. 2012 ; Dael et coll. 2012 ; Crane et Gross, 2013). Ceci a été attribué à la mobilisation de l'effort physique ou l'état de la volonté d'agir provoqué par une forte activation physiologique (Frijda, 1987)

La discrimination des émotions en fonction de la valence (agréabilité) est moins cohérente entre les études. La fluidité a été montrée comme pouvant différencier la colère (mouvement moins lisse) de la joie (Montepare et coll. 1999 ; Dael et coll. 2012)

(Glowinski et coll. 2011) ont montré que dans les cas d'arousal élevé la courbure permettait de distinguer les émotions négatives des émotions positives. Si l'algorithme de classification défini par ces auteurs fonctionnait bien, le patron était moins distinctif pour les émotions avec un niveau bas d'arousal.

Dans une autre étude (Van Dyck et coll. 2013), lors d'émotions induites chez les danseurs, les expressions de la joie étaient observées plus étendues et impulsives que pour les expressions de la tristesse.

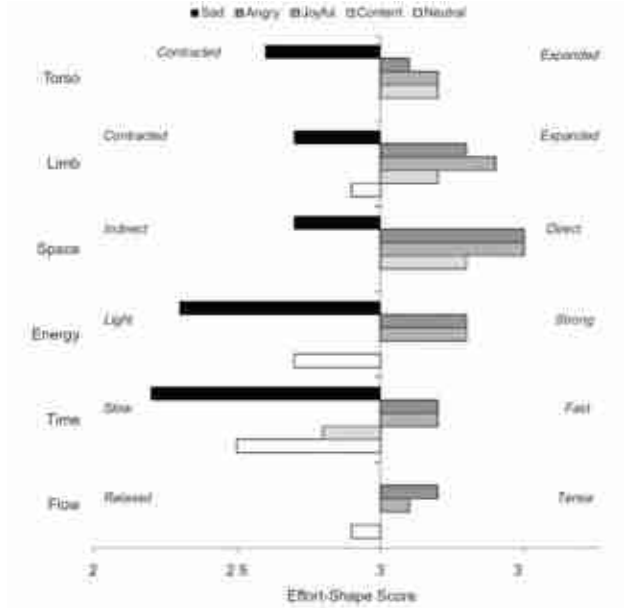
En interprétant la valence dans le cadre d'étude de la tendance à l'action, un sentiment négatif est hypothétiquement associé à la tendance à fuir tandis qu'un sentiment positif est relié à l'activation libre (Frijda, 1987). Ce dernier étant une réponse motrice non spécifique, ce qui participe certainement à la difficulté de ne pouvoir en extraire les composantes nécessaires à sa reconnaissance (Fredrickson, 1998). Une raison probable est l'interaction qui existe avec la dimension arousal (activation). Les expressions corporelles de valence diffèrent en fonction des niveaux d'activation physiologique induits par la nature des émotions. Les affects avec un haut niveau d'arousal sont plus faciles à discriminer que ceux avec un niveau bas.

Le tableau 4 résume les principaux résultats des études entre mouvements expressifs et affects.

TABEAU 4 : PRINCIPAUX RESULTATS DES ETUDES PORTANT SUR L'EXPRESSIVITE ET L'AFFECT

Études	Type d'annotations	Affects discriminés	Principaux résultats
(Castellano et coll. 2007)	Annotations automatiques des vidéos	Tristesse, serein.	<ul style="list-style-type: none"> • Valeur faible d'impulsivité (pic de la ST large et lisse). • Quantité de mouvement : tristesse plus faible que serein.
(Wallbott, 1998)	Vidéos annotées subjectives	Joie, Bonheur, tristesse, désespoir, peur, terreur, colère froide, colère, dégoût, mépris, honte, culpabilité, fierté, ennui.	<ul style="list-style-type: none"> • Quantité de mouvement du plus important au plus faible (joie, colère, terreur, désespoir, intérêt, honte, colère froide, peur, fierté, dégoût, bonheur, mépris, tristesse, ennui). • Pour l'étendue spatiale, des résultats similaires en lien avec l'arousal. Dans l'ordre (colère, joie, désespoir, colère froide, terreur) puis, les autres émotions. • D'importantes différences également trouvées dans le jugement de l'énergie avec dans l'ordre : colère – joie – terreur – désespoir – intérêt – colère froide – peur – fierté – honte - autres émotions.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

(Gross et coll. 2010)	Vidéos annotées subjectives	Colère, anxieux, triste, joie, fier, content.	<ul style="list-style-type: none"> Relation positive entre la fierté et les scores d'énergie ainsi que la composante temps. Relation négative entre la fierté et spatial. Relation positive entre la colère et l'énergie. Relation négative entre joie et flux. Relation positive entre anxieux et flux et négative entre anxieux et temps. Tristesse et content (activation basse) sont moins liés à l'effort – forme.
(Meijer, 1989)	Vidéos annotées subjectives	Intérêt, joie, sympathie, admiration, surprise, peur, chagrin, honte, colère, antipathie, mépris, dégoût.	<ul style="list-style-type: none"> Relation négative entre la force et (intérêt, sympathie, admiration). Relation positive entre la force et (peur, la colère, antipathie, mépris, dégoût). Relation négative entre caractère direct et (colère, l'antipathie, mépris, dégoût).
(Montepare et coll. 1999)	Vidéos annotées subjectives	Neutre, joie, colère, tristesse.	<p>Dans l'ordre des émotions avec les valeurs les plus hautes aux valeurs les plus basses.</p> <ul style="list-style-type: none"> Courbure : neutre, tristesse, joie, colère Rigide : (neutre, joie, tristesse identique), colère. Vitesse : colère, joie, neutre, tristesse. Etendue spatiale : neutre, tristesse, colère, joie.
(Dahl et Friberg, 2007)	Vidéos annotées subjectivement	Joie, tristesse, colère, peur.	<ul style="list-style-type: none"> Relation positive entre quantités de mouvement et joie – colère. Relation négative entre quantité de mouvement et peur – tristesse. Relation positive entre « fluency » et tristesse. Relation négative entre « fluency » et colère – peur. Relation positive entre vitesse et joie – colère ; négative avec tristesse.
(Gross et coll. 2012)	Vidéos annotées subjectivement	Tristesse, colère, joie, satisfait, neutre	 <p>FIGURE 11 GRAPHIQUE DES PRINCIPAUX RESULTATS. D'après (Gross et coll. 2012).</p>

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

(Glowinski et coll. 2011)	Annotations automatiques de vidéos	Regroupe 12 émotions en cluster valence arousal.	<ul style="list-style-type: none"> • Activité du mouvement dans l'ordre du plus élevé au moins élevé : Cluster 1 (émotions positives, haut arousal), cluster 2 (émotions négatives, haut arousal), cluster 3 (émotions positives, arousal bas), cluster 4 (émotions négatives, arousal bas). • Étendue spatiale dans l'ordre du plus élevé au moins élevé : cluster 1, cluster 2, cluster 4, cluster 3 • Fluidité dans l'ordre du plus élevé au moins élevé : cluster 2, cluster 1, cluster 3, cluster 4.
(Shikanai et coll. 2013)	Vidéos annotées subjectivement	Joie, tristesse et colère.	<ul style="list-style-type: none"> • Dans le « path model » les dynamiques reliées positivement avec la colère, et négativement avec la tristesse et la joie. • L'étendue spatiale reliée positivement avec la joie et négativement avec la tristesse et la colère.
(Samadani et coll. 2013)	Annotations automatiques (MOCAP) et annotations subjectives	Colère, tristesse, peur, dégoût, surprise, bonheur	<ul style="list-style-type: none"> • Corrélations élevées entre les annotations Laban (Poids / temps et les annotations automatiques.

Figure 12 consists of two line graphs side-by-side. The left graph is titled 'Strong' and the right graph is titled 'Sudden'. Both graphs have a y-axis labeled 'Quantified Weight' ranging from -2 (Light) to 2 (Strong). The x-axis lists six emotions: Anger, Sadness, Fear, Disgust, Surprise, and Happiness. The 'Strong' graph shows a red line with open circles, starting high for Anger, dropping sharply for Sadness, and then fluctuating between negative and positive values for the other emotions. The 'Sudden' graph shows a blue line with open circles, starting high for Anger, dropping sharply for Sadness, and then fluctuating between negative and positive values for the other emotions.

FIGURE 12 GRAPHIQUE DES PRINCIPAUX RESULTATS DE L'ETUDE.
D'après (Samadani et coll. 2013).

(Van Dyck et coll. 2013)	Annotations automatiques (MOCAP)	joie et tristesse.	<ul style="list-style-type: none"> • Impulsivité plus élevée dans la condition joie que dans la condition tristesse pour les membres (torse, bras, mains, hanche). • Vitesse et accélération plus élevées pour la condition joie que pour la condition tristesse pour les membres (bras et mains). • Etendue spatiale plus élevée également dans la condition joie.
(Crane et Gross, 2013)	Annotations vidéo subjectives	Colère, joie, tristesse, satisfaction, neutre.	<p>Dans l'ordre du plus élevé au moins élevé :</p> <ul style="list-style-type: none"> • énergie : colère – joie – content – neutre – tristesse. • Temps : (colère, joie) – (content – neutre) – tristesse. • Flux : colère – joie – (content, neutre, tristesse).

2.2.5 SYNTHÈSE

Il est difficile de déterminer si des perspectives des émotions discrètes ou de l'optique des modèles dimensionnels fournit une vue plus précise des affects, émotions et des humeurs dans la façon dont celles-ci sont structurées.

Les études calculant des paramètres objectifs dans le but de relier l'affect aux mouvements sont récentes. La plupart des études utilisent des acteurs pour afficher l'affect ce qui a pour effet de maximiser sa détection dans le mouvement. De plus, l'analyse du ressenti n'est pas systématiquement proposée. Différents niveaux peuvent être utilisés pour calculer les variables dépendantes.

Qu'elles soient distales ou proximales, les qualités du mouvement offrent une analyse compréhensible plus proche des perceptions de l'humain et permettent de caractériser les mouvements corporels dans leur ensemble. Relié aux dimensions émotionnelles, un haut niveau d'arousal est constamment associé avec l'énergie et la vitesse ainsi que l'étendue spatiale. Les différences sont moins évidentes quand on met en relation la valence et les qualités du mouvement, celles-ci sont peut-être plus reliées à la tâche notamment quand les niveaux d'arousal sont identiques.

2.3 LES INTERACTIONS CORPORELLES : UNE SOURCE DE VARIABILITE INTRA-INDIVIDUELLE DU MOUVEMENT

L'intelligence sociale est un facteur important de succès dans la vie (Goleman, 2007). L'intelligence sociale est la capacité à reconnaître et comprendre les indices sociaux qui proviennent des canaux verbaux et non verbaux et ainsi d'adapter de façons appropriées sa réponse au cours de l'interaction (Vinciarelli et coll. 2009).

En dépit des récentes avancées dans le traitement objectif (algorithme et annotations automatiques) et subjectif (annotations manuelles) de ces indices pertinents du comportement (clignement des yeux, sourire, mouvement du corps, rire) (tableau 5), le développement de systèmes automatisés pour le traitement de signaux sociaux (SSP) reste difficile. Les comportements non verbaux sont une source continue de signaux qui transmettent des informations à propos des sentiments, de l'état mental, de la personnalité, et d'autres traits des personnes comme les statuts (Vinciarelli et coll. 2009) (figure 13). Le terme « indice comportemental » est utilisé pour décrire un ensemble de changements temporels dans l'activité neuromusculaire et physiologique. Il est particulièrement intéressant d'étudier la variabilité de ces indices dans le cadre du mouvement afin de mieux comprendre l'humain dans un contexte d'interaction.

Les études font de plus en plus appel à l'IHM, notamment pour standardiser les conditions ; ainsi, un large pan de bibliographie est relié à ces problématiques.

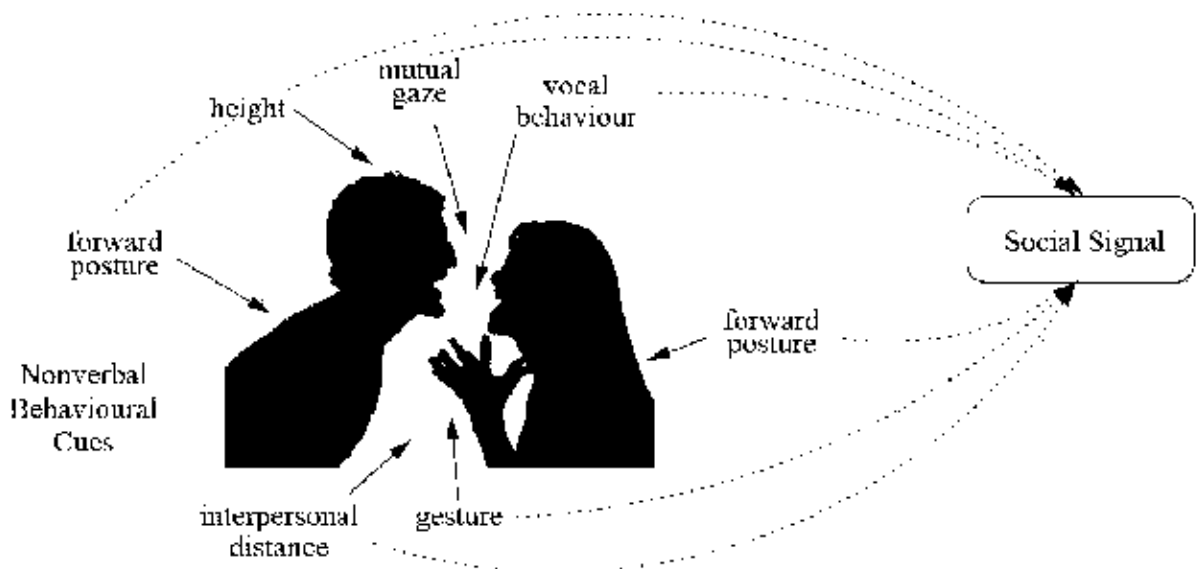


FIGURE 13 : LES SIGNAUX SOCIAUX ET LEURS COMPOSANTES.
D'après (Vinciarelli et coll. 2009).

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

TABLEAU 5 : LES INDICES SOCIAUX EN LIEN AVEC LES COMPORTEMENTS SOCIAUX.

Adapté de (Vinciarelli et coll. 2009).

Exemple de comportements sociaux.							
Indices sociaux	Émotion	Personnalité	Statut	Dominance	persuasion	Régulation	Rapport
			Apparence physique				
Taille			X	X			
Attraction		X	X	X	X		X
Forme du corps		X		X			
			Gestes et postures				
Gestes des mains	X	X			X	X	X
Postures	X	X	X	X	X	X	X
Marche		X	X	X			

2.3.1 LES INTERACTIONS HOMME-MACHINE

Les principes des interactions entre humains sont de plus en plus appliqués aux IHM (p. ex. homme – avatar ; homme – robot). Tout ceci dans le but d'améliorer l'interaction (les compétences sociales que l'on attribue à la machine), mais aussi afin de mieux comprendre l'humain.

Il est important, dans un but d'optimisation des IHM, de comprendre les processus sous-tendant les réactions automatiques et non intentionnelles des humains envers les agents, mais également de comprendre comment les caractéristiques des agents (p. ex. forme, mouvement, et comportement) influencent ces réactions (Marin et coll. 2009).

La résonance motrice est un concept souvent cité dans la littérature. La résonance est un mécanisme général par lequel les substrats (les neurones miroirs) engagés dans l'exécution d'actions et le ressenti émotionnel le sont aussi quand on perçoit les autres ressentir ces émotions ou exécuter ces mêmes actions (Gallese et coll. 1996). Il a par ailleurs été prouvé que la résonance est modulée par la perception de l'anthropomorphisme des agents (Chaminade et coll. 2007). L'existence et l'utilisation de ce mécanisme a été validé par (Chaminade, 2005) qui a analysé l'interférence motrice dans 4 conditions (humain avec des mouvements congruents, humain avec des mouvements incongruents, robot avec des mouvements congruents, robot avec des mouvements incongruents). Lors de cette étude seule la condition incongruente pour des mouvements humains montrait des différences. L'anthropomorphisme ne concerne pas uniquement la forme, mais également les mouvements. Dans une étude récente (Chaminade et coll. 2007) ont comparé différentes formes d'avatars pour deux types de mouvements (c.-à-d. des mouvements réels enregistrés avec MOCAP, des mouvements virtuels créés à partir de moments clefs) sur la perception d'annotateurs, qui devaient juger si le mouvement était biologique. Les utilisateurs étaient plus tentés d'attribuer des mouvements biologiques à des avatars affichés en mode point et dont le mouvement était virtuel ; tandis que, pour un avatar avec une forme plus ou moins réelle : le phénomène inverse se produisait. Ces études démontrent un effet réciproque entre l'anthropomorphisme de forme et de mouvement et mettent en

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

évidence l'importance de l'apparence lors de la création d'avatars pour le divertissement, la recherche ou à des fins thérapeutiques (Chaminade et coll. 2007).

(Hodgins et coll. 2010) ont montré que les anomalies faciales sont plus dérangeantes que les erreurs de mouvements du corps et que celles-ci influencent la perception de la réalité « human like ». En associant des mouvements biologiques à des formes plus ou moins réelles (McDonnell et coll. 2009) ont montré qu'il n'existait pas de différence dans la perception de l'émotion entre une forme de zombie ou d'humain, mais seulement des différences dans l'intensité des émotions labélisées.

L'interaction entre le genre, le mouvement et l'émotion est également source d'intérêt. (Zibrek et coll. 2013) ont analysé la reconnaissance d'émotion et du genre en fonction du mouvement joué par des acteurs et appliqué à des avatars de sexes différents (c.-à-d. mouvement d'hommes sur des avatars femmes, mouvements de femmes sur avatars hommes, mouvements de femmes sur des avatars femmes...) (figure 14).

FIGURE 14 STIMULI AVEC DES AVATARS.

D'après de (Zibrek et coll. 2013). Note : la tête des avatars était floutée.



L'évaluation du mouvement provenant d'une femme et d'un homme était affectée par l'émotion jouée. Ces résultats montrent que certaines émotions et certains genres sont plus reconnaissables que d'autres en fonction du sexe de l'avatar ou de l'acteur qui les joue. (Llobera et coll. 2010) ont mesuré l'intensité perçue dans un contexte virtuel. Les auteurs ont évalué l'arousal lorsque les participants étaient approchés par un groupe d'un ou quatre avatars (des femmes ou des cylindres) à diverses distances. Plus la distance était courte et plus les avatars étaient nombreux et plus la mesure d'arousal était élevée. Cependant, aucune différence entre les avatars cylindriques et les avatars femmes n'a été montrée. Ainsi, en plus du genre, du nombre, et de l'anthropomorphisme, la taille de l'avatar est identifiée comme un modérateur social dans les IHM (Yee, 2006).

Ces exemples montrent les liens subtils et multicomposant (forme, mouvement, taille, genre et affect) existant entre l'être humain réel et son équivalent virtuel dans les IHM.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

2.3.2 LES SIGNAUX SOCIAUX ET LA VARIABILITE INTRA-INDIVIDUELLE

SSP constitue un domaine où le comportement humain est analysé de façon continue et dans le cadre d'une approche computationnelle afin d'extraire des paramètres objectifs sur les signaux sociaux humains. La force et la faiblesse de ce domaine d'étude est qu'il est abordé par plusieurs communautés scientifiques (c.-à-d. psychologie, sciences informatique, sciences du mouvement). Les signaux sociaux proviennent de canaux multiples (p. ex. posture, regard, proxémie, gestes, la voix, etc.) et sont communément indexés en deux catégories (c.-à-d. verbal et non verbal). Le poids des différents canaux dépend du type d'interactions, mais il est depuis longtemps établi que les signaux non verbaux sont la source la plus utilisée pour transmettre l'information durant l'interaction (Argyle, 1994). Les sources continues de comportements non verbaux transmettent des informations à propos des sentiments, des états mentaux de la personnalité et d'autres traits des personnes (statut, dominance, rapport, etc.) (Richmond et coll. 2011).

Dans l'étude des interactions dyadiques, les chercheurs ont besoin de prendre en compte la variabilité interindividuelle et intra-individuelle, ainsi que leurs possibles impacts sur le mouvement. Dans ce cadre, le genre et la dominance sont deux sources bien renseignées des variabilités intra et interindividuelles. La facilitation sociale et la coordination des actions jointes (abordées ci-après) ajoutent des cadres d'études intéressants quand on s'intéresse à l'interaction dyadique avec prise en compte du statut (variabilité intra-individuelle).

En aparté: la synchronie pour l'étude de l'interaction

Dans l'étude de l'interaction, les chercheurs se sont intéressés aux indices relatifs au comportement des individus, mais aussi de la dyade entière prise comme une unité. L'entitativité est le degré par lequel un groupe d'individus se perçoit comme une unité à part entière (Campbell, 1958). Ce concept est relié par des caractéristiques perceptuelles telles que la proxémie, la similarité et le but commun. Des recherches récentes (Lakens, 2010) ont investigué la synchronie du mouvement comme un antécédent possible à l'entitativité perçue subjectivement. Les principales fonctions servies par la synchronie incluent le rapport reflété (Tickle-Degnen, 1987), soulignent l'attention et la compréhension (Kendon, 2004) et sont fortement reliées aux attitudes interpersonnelles et aux statuts. L'émergence spontanée des coordinations motrices est un phénomène si puissant que l'humain ne peut l'éviter ; les coordinations et synchronisations interpersonnelles temporelles (Delaherche et coll. 2012) sont un point très important des études sur l'interaction, mais ne seront pas abordées dans le cadre de cette thèse.

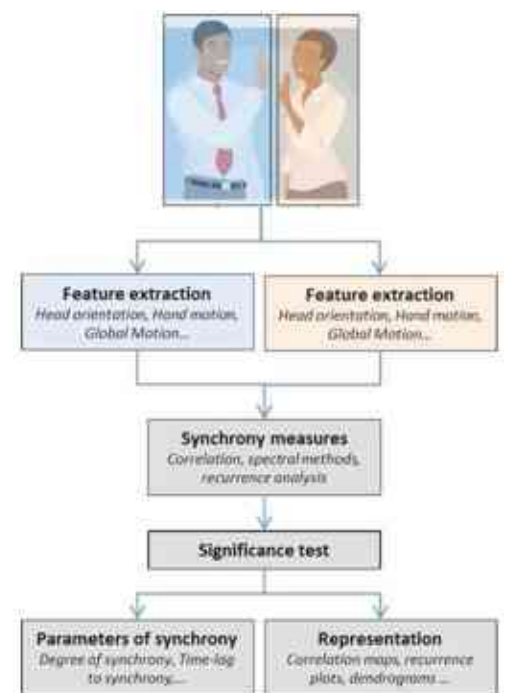


FIGURE 1 : ANALYSER LA SYNCHRONIE DANS
LES INTERACTIONS.

D'après Delaherche et coll. (2012)

Genre et Dominance

Les femmes et les hommes tendent à afficher différents patrons de comportements non verbaux en fonction du genre de leur partenaire lors d'interaction dyadique (Bente et coll. 1998). Le genre et la dominance se chevauchent dans le cas des conversations affectives dans des dyades mixtes ; les hommes étant plus dominants que les femmes (Henley et Kramarae, 2001). L'habileté à influencer le comportement d'une autre personne est définie par le « power » (Dunbar et coll. 2008). La dominance est fortement liée à la personnalité (Mehrabian, 1996), mais peut être inférée par d'autres indices comme les expressions faciales, l'âge et les vêtements (Karafin et coll. 2004). Au-delà du visage, les postures corporelles, les mouvements, le ton de la voix et le contexte peuvent transmettre des informations sur la place d'un individu dans la hiérarchie sociale (Brothers, 1997). Le « power » et la dominance sont deux concepts reliés au statut, la hiérarchie préétablie d'un individu donné dans la dyade. Néanmoins, un haut statut n'assure pas l'affichage d'un comportement dominant (Ridgeway et coll. 1995). Les individus faibles en « power » sont plus régis par les règles situationnelles, et donc susceptibles d'imiter leur partenaire de dyade. Le potentiel physique est connexe au concept de dominance et de « power » dans les comportements non verbaux. Il est lié à la menace, à la taille et à la force, mais également à l'expressivité de la personne. La vitesse, l'agilité et la dépense d'énergie étant des indicateurs de ce potentiel. (Gifford, 1994) a mis en évidence plusieurs comportements associés avec la dominance et les individus ambitieux (c.-à-d. Orientation de la tête, plus de secousses de la tête, une orientation érigée du tronc, les bras moins près du corps, plus de gestes, plus d'extensions des jambes). L'expressivité et la dominance ont été positivement reliés à des comportements plus énergiques et animés, des mouvements rapides, des postures plus étendues dans l'espace, des mouvements lourds, postures jambes écartées, mains sur les hanches, mains espacées du corps, marche plus fluide et gracieuse (Gallagher, 1992). Ces comportements seraient associés à un haut degré de dépense d'énergie.

Facilitation sociale

Dans le cadre d'étude sur les dyades, le contexte est important et est souvent source de variabilité. Ainsi lorsque deux personnes font une tâche dans une même pièce : ils interagissent. La facilitation sociale est un phénomène qui se produit dans ce type de contexte (Robert B. Zajonc, 1965). Celle-ci tend à réduire ou augmenter la performance et dépend d'une multitude de facteurs. Quatre mécanismes majeurs sont connus pour médier cet effet (c.-à-d. Incertitude, appréhension de l'évaluation, conscience de soi, et distraction (Uziel, 2007). Deux d'entre eux sont reliés aux spécificités de l'observateur. Le mécanisme d'incertitude (Zajonc, 1980) semble se produire le plus souvent quand l'acteur ne connaît pas l'observateur. Le mécanisme d'appréhension de l'évaluation (Cottrel, 1968) souligne que la facilitation sociale se produit quand l'observateur est capable de juger l'acteur. Il existe un nombre important de contextes sociaux différents (p. ex. audience, coaction, et pair), et différents types de tâches possibles (p. ex. simple, complexe, nouvelle, et motrice) (Uziel, 2007). La personnalité des acteurs et des observateurs ajoute de la complexité dans l'analyse de l'effet de facilitation sociale. Récemment (Oviatt, 2005) a fait une revue des études de facilitations sociales démontrant différents effets de la présence et

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

du type de tâches. De façon très générale, une tâche familière (c.-à-d. quand le performeur est expert) et une audience familière (c.-à-d. connue) n'affectera pas ou peu la performance de l'acteur. Un acteur novice devant une audience non familière sera au contraire affecté. Des observateurs visibles auront un effet modéré sur la performance au contraire d'observateurs non visibles ou peu d'effet a été mis en évidence. La facilitation sociale est intensifiée quand le statut de l'observateur est considéré comme expert de la tâche. Il est à noter que l'effet de la facilitation sociale a également été étudié chez les personnages virtuels (Park et Catrambone, 2007).

Coordination des actions jointes

Les études sur la coordination d'actions jointes fournissent des contributions intéressantes sur les stratégies utilisées dans une dyade meneur-suiveur où les personnes ne possèdent pas de statut spécifique. Il y a deux mécanismes qui promeuvent les coordinations temporelles (Vesper et coll. 2011). L'entraînement (Schmidt et coll. 1998) qui est la tendance pour les personnes d'une dyade à avoir des mouvements intra et des mouvements inter couplés. La simulation motrice (Keller et coll. 2007) permet aux personnes, au moyen de mécanisme liées aux propriétés de leur système moteur (neurones miroirs), de prédire l'action du partenaire. Spécifiquement sur les statuts des personnes en dyade, les études ont montré que le fait d'agir comme un meneur, comme un suiveur ou comme un co-acteur affectait la variabilité et la performance des actions. Sans meneur (Noy et coll. 2011) ont montré que la coaction dans une tâche d'improvisation donnait de meilleures performances ; les indices étaient une augmentation de la synchronie et une diminution du tremblement. (Hart et coll. 2014) ont mis en évidence que le déplacement des signatures motrices dépendait de la configuration de la dyade (meneur suiveur, improvisation). Ainsi, dans une tâche d'improvisations (sans meneur ni suiveur) les personnes tendaient à ne pas converger à l'interstice de leur patron de mouvements préférés (figure 16-B). Ils en créaient un nouveau ce qui conduisait à une meilleure performance (figure 16-C).

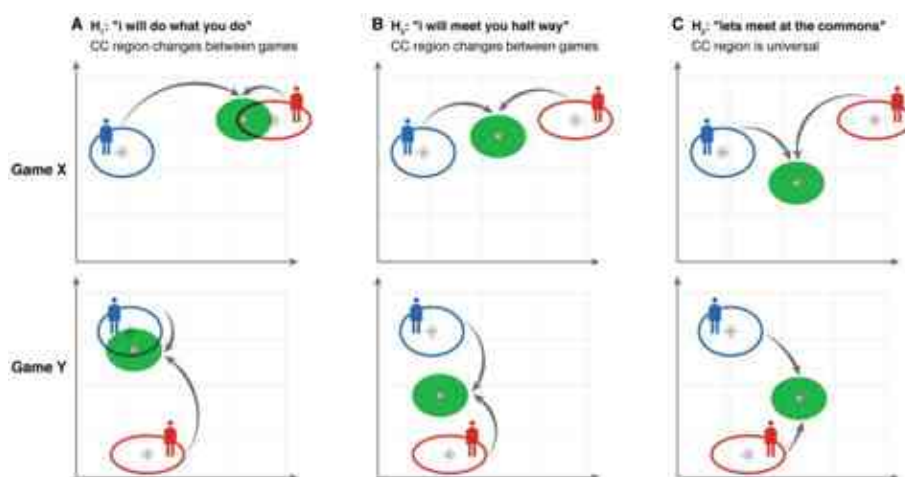


FIGURE 16 : DES EXEMPLES POSSIBLES DE SIGNATURES MOTRICES EN FONCTION DES CONFIGURATIONS SOCIALES.

D'après (Hart et coll. 2014).

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

Dans le cadre d'une configuration meneur-suiveur, les suiveurs tendaient à imiter le meneur. Dans la tâche de coaction, les participants réduisaient leur variabilité comparée à une même tâche faite seule. Lorsqu'il y avait un meneur, celui-ci rendait ses mouvements prévisibles, réduisant sa variabilité dans le but d'augmenter sa prédictibilité (Vesper et coll. 2011). Ceci rejoint les études sur la synchronie, où des échanges prédictibles et plus harmonieux permettent de meilleures interactions, et facilitent ainsi la compréhension entre les partenaires ; tous ces mécanismes ayant en toile de fond un but social.

2.3.4 PERSONNAGES VIRTUELS EXPRESSIFS ET APPLICATIONS AU COACH VIRTUEL

Depuis quelques années, les chercheurs en IHM tendent à implémenter l'expressivité dans le design des agents. Cette variabilité intra-individuelle du mouvement permet d'afficher des agents dont les comportements paraissent plus humains. Pour l'instant, les études impliquant des coachs virtuels ne bénéficient pas de cet intérêt.

Personnages virtuels expressifs

L'expressivité peut servir tout d'abord à représenter une personne (c.-à-d. son style). Les travaux de (Rajagopal, 2012) se sont inspirés des paramètres de l'étendue spatiale et de l'étendue temporelle de (Hartmann et coll. 2002). Acquis au moyen de la MOCAP, ils utilisent ces paramètres pour animer un agent conversationnel en fonction de l'expressivité capturée. Cette façon de personnaliser l'animation permet d'induire un ressenti de l'interaction plus « humain ». Dans une optique d'évaluation des personnages virtuels (Hartmann et coll. 2005) ont évalué GRETA, faisant passer une étude perceptive aux utilisateurs en fonction des paramètres expressifs que l'agent affichait (activation globale, étendue spatiale, étendue temporelle, fluidité, puissance).

Le prototype présenté par (Rehm et coll. 2008) permet une analyse multicanal des utilisateurs. Au moyen de l'accéléromètre 3D présent dans la wiimote (Nintendo) et un microphone, les auteurs utilisent un jeu de karaoké virtuel (figure 17) pour calculer des variables expressives (puissance, étendue spatiale). Ces paramètres sont ensuite utilisés pour animer un personnage virtuel. Les avantages de ce système étant que le contexte situationnel peut être contrôlé (par la musique) pour transmettre différents niveaux d'arousal et que l'écologie de la prise de mesure est respectée.



FIGURE 17 : DE LA PRISE DE MESURE A L’AFFICHAGE DU COACH VIRTUEL.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

D'après (Rehm et coll. 2008).

Les applications en « affective computing » sont intéressantes pour la communication d'émotions. Ces applications ont donc un intérêt à faire varier l'expressivité des agents. Dans l'étude de (Lance et Marsella, 2007), les auteurs ont évalué la perception par des codeurs de l'arousal et de la dominance affichés par l'avatar en fonction de ses variations de mouvements de tête et de postures expressives. Outre le style et les affects, l'expressivité peut également permettre d'informer les utilisateurs sur d'autres paramètres comme la compétence ou la sympathie (Bergmann et coll. 2010). Dans cette étude, l'agent Max affichait des comportements différents pendant cinq présentations : pas de gestes jusqu'aux gestes d'expressifs aléatoires en passant par des conditions plus ou moins expressives. Les auteurs ont ensuite mis en relation ces paramètres avec l'expressivité (étendue spatiale, fluidité, puissance) que les utilisateurs annotaient.

Application au coach virtuel

Les applications de coachs virtuels orientées santé sont de plus en plus nombreuses. Les coachs virtuels sont des applications ludiques et sportives fournissant des feedbacks et un support de motivation (Lowe et ÓLaighin, 2012). Les technologies portatives sans capteurs étant de plus en plus abordables, ceci permet à l'industrie ludo-éducative de développer des exergames engageants. Le contrôle de la perception sociale ressentie par l'utilisateur durant l'interaction et l'apport motivationnel de ces applications sont par contre une amélioration nécessaire.

Une application concrète des exergames est d'augmenter l'activité des séniors (Brox et coll. 2011). Pour adhérer à ces activités et donc augmenter la pratique, la motivation est un paramètre important. Il y a de nombreux paramètres qui ont besoin d'être considérés dans la conception d'un coach motivant. En accord avec la littérature, plus le coach est motivant et plus il est efficace.

Il existe une catégorie particulière de coach virtuel, celles qui utilisent le traitement d'image (MOCAP) avec des outils bas coût (figure 18). Dans cette catégorie, le terme « coach virtuel » englobe une multitude d'applications. Les systèmes d'entraînement corps entier sont néanmoins rares. Virtual PAT est un des premiers systèmes qui fournit un suivi vidéo du mouvement pour permettre au coach sur TV de produire un feedback approprié (Davis et Bobick, 1998). Un travail récent, MotionMA (Velloso et coll. 2013) se concentre sur le fait de guider les mouvements des utilisateurs captés avec une KINECT pendant l'entraînement. En plus des feedbacks sur les mouvements, l'entraîneur proposé permet le design d'un programme personnalisé. La mesure des mouvements des participants est comparée au coach virtuel. Cette comparaison sert à fournir des indices en temps réel sur les améliorations possibles.

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART



FIGURE 18 : « YOUR SHAPE » EXEMPLE DE COACH VIRTUEL AVEC LA KINECT.
D'après (Velloso et coll. 2013).

Outre la comparaison entre les mouvements permettant les feedbacks et la création de programmes personnalisés, la dépense d'énergie est une mesure utilisée pour évaluer un programme de coaching virtuel. Reconnue comme une mesure de l'activité physique, elle est également associée avec le plaisir dans le cas des exergames et des bénéfices pour la santé (Lyons et coll. 2014). Durant cette étude, les chercheurs ont analysé avec un calorimètre la dépense énergétique de participants jouant à un jeu de simulation de danse pendant 13 minutes. Les participants devant également répondre à un questionnaire d'auto-évaluation mesurant notamment le plaisir « enjoyment ». Le « path-model » a confirmé une relation positive entre la dépense d'énergie et le plaisir. Le plaisir est un facteur majeur qui supporte la motivation à jouer aux exergames. De plus, les coaches émotionnellement démonstratifs ont un effet sur la motivation (W. L. Johnson, 2000). Néanmoins, aucune de ces études n'a fait varier l'expressivité des personnages virtuels, ce qui en fait une piste innovante pour les améliorer

2.3.4 SYNTHÈSE

Les signaux sociaux sont utilisés dans les interactions et dans les IHM lors de l'analyse objective et subjective de celles-ci. Concernant un très grand nombre de paramètres verbaux et non verbaux ; très peu d'études considèrent des dyades en capturant entièrement leurs mouvements.

Le caractère multidisciplinaire du traitement des signaux sociaux et le but de nos études nécessitent de faire une revue de littérature vaste et hétéroclite afin de prendre en compte le maximum de spécificités de ce type interactions. Variabilité interindividuelle, facilitation sociale, action jointe, agent expressif et coach virtuel : les concepts sont nombreux et s'entremêlent.

Les études sur les agents virtuels montrent comment l'expressivité permet de leur attribuer de l'émotion, de la compétence et un caractère humain. Les études sur les coaches virtuels n'ont jamais considéré la variabilité du mouvement et l'expressivité comme pouvant avoir un l'impact sur la perception des joueurs et notamment sur le plaisir, faisant partie de la motivation intrinsèque.

CHAPITRE III :

L'EXPRESSIVITE DU MOUVEMENT : IMPACT DU CONTEXTE EMOTIONNEL SUR LA VARIABILITE MOTRICE INTRA-INDIVIDUELLE.

3.1 Introduction	48
3.1.1 Objectifs	48
3.1.2 Hypothèses	48
3.2 Méthode	49
3.3 Résultats	55
3.3.1 Prédiction des valeurs du questionnaire d'auto-évaluation, la valence ressentie	56
3.3.2 Prédiction des valeurs de l'activité électrodermale, l'arousal mesuré	59
3.4 Discussion	60
3.5 Synthèse	63

CHAPITRE III :
L'EXPRESSIVITE DU MOUVEMENT : IMPACT DU CONTEXTE EMOTIONNEL SUR LA
VARIABILITE MOTRICE INTRA-INDIVIDUELLE.

3.1 INTRODUCTION

La première étude propose d'examiner les effets « top-down » de l'embodiment (cf. 2.2.4). Comment l'affect ressenti par les participants impactera leur signature motrice (c.-à-d. leur expressivité). La littérature a pointé du doigt certains résultats intéressants, mais aussi quelques faiblesses dans les précédentes études (cf. chapitre II). Les auteurs préfèrent notamment utiliser des acteurs pour communiquer les émotions et n'évaluent pas systématiquement les procédés utilisés pour l'élicitation. Un protocole d'élicitation non acté et également plusieurs niveaux d'évaluations (c.-à-d. subjective par auto-évaluation et objective par la mesure physiologique) sont proposés. En plus d'utiliser trois ST (c.-à-d. énergie, caractère direct et étendue spatiale) couramment employées, le calcul de la rigidité est créé car pertinent au vu de la littérature (cf. 2.2.4). Une méthode statistique est employée pour mettre en lumière les effets de l'affect tout en contrôlant la variabilité interindividuelle : les GLMM.

3.1.1 OBJECTIFS

Cette étude présente trois objectifs :

1. Mettre en évidence la relation entre expressivité et affect (valence et arousal).
2. Montrer que la rigidité est une ST pertinente dans la discrétisation de l'affect.
3. Montrer que les GLMM sont intéressants pour traiter de la variabilité intra-individuelle du mouvement.

3.1.2 HYPOTHESES

H1 : Les variables issues de la ST de l'énergie devraient permettre de discrétiser l'arousal.

H2 : Le modèle pour la valence devrait être plus complexe, la rigidité est une ST intéressante pour sa prédiction.

H3 : L'entropie des ST est importante pour la modélisation de la valence (la valence positive étant caractérisée par une prédictibilité moindre - une tendance à l'activation libre).

H4 : La variabilité interindividuelle est importante dans les études sur l'humain. Pour isoler au mieux les différences intra-individuelles dans ce type d'étude, les GLMM sont nécessaires.

3.2 METHODE

Participants

Vingt étudiants en sciences du sport âgés de 20 à 25 ans (11 femmes; Mage = 21.3, SD = 1.7) ont pris part à l'étude après avoir donné leur accord par écrit et avoir été informé de la procédure expérimentale comme il est requis par la déclaration d'Helsinki et le comité local d'éthique EA 4532. Les participants ont été sélectionnés dans cette limite d'âge, car il est reconnu que la régulation émotionnelle après une élicitation dépend de l'âge (Larcom et Isaacowitz, 2009). La moyenne de la durée hebdomadaire de leur activité sportive était de 7.3 heures (SD = 3.4). Parmi les participants, 33% avaient déjà pratiqué une activité de type fitness avec une moyenne de 36h de pratique par an. Les participants n'avaient pas de troubles sensoriels, perceptifs et moteurs. Ils étaient naïfs à propos des questions de recherche.

Tâche

La vidéo de la chorégraphie a été envoyée aux participants une semaine avant la passation expérimentale. Les participants devaient regarder la vidéo et d'apprendre la chorégraphie de fitness dans le but de pouvoir la reproduire le jour de l'expérimentation. L'expérience a été conçue dans le cadre d'un protocole à mesures répétées pour évaluer le changement dans les caractéristiques du mouvement à un niveau intra-individuel. La chorégraphie était composée de deux mouvements des membres inférieurs différents (c.-à-d. pas, montée de genou), répétés deux fois de chaque côté et deux mouvements de membres supérieurs différents (c.-à-d. vague, uppercut) répétés deux fois de chaque côté ; finalement deux combinaisons de chacun des mouvements précédents (c.-à-d. pas/vague, monté de genou/uppercut) répétés deux fois de chaque côté. La séquence de mouvement entière était composée des 4 éléments précédemment décrits et était répétée trois fois par condition. Cette séquence de mouvement (figure 19) a également été utilisée dans le cadre des études II et III.

CHAPITRE III :
L'EXPRESSIVITE DU MOUVEMENT : IMPACT DU CONTEXTE EMOTIONNEL SUR LA
VARIABILITE MOTRICE INTRA-INDIVIDUELLE.

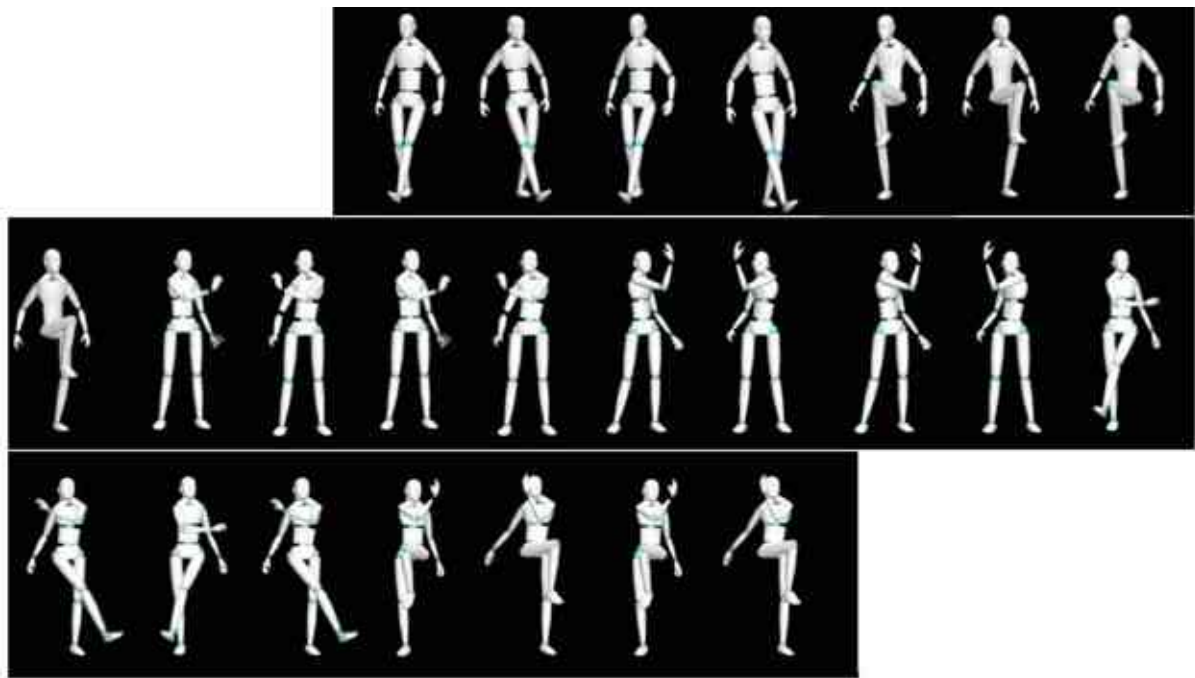


FIGURE 19 : IMPRESSION-ECRAN DE CHAQUE MOUVEMENT TIREE D'UNE SEQUENCE COMPLETE POUR UN PARTICIPANT.

Procédure

Les participants n'étaient pas rémunérés pour leur participation. Les mouvements des participants étaient collectés au moyen d'un système optoélectronique de MOCAP corps entier. La salle expérimentale était équipée de dix caméras infrarouges (S250e système Optitrack, fréquence: 120 Hz, résolution: 832*832). Les participants portaient un outil de type QSensor qui enregistrait l'activité électrodermale (DEA). Ce système permet d'estimer le niveau d'activation physiologique (arousal) associé à l'état émotionnel des participants. Cette mesure physiologique a été combinée avec une mesure psychologique d'auto-évaluation des émotions : « le differential emotion scale » (DES) (Ouss et coll. 1990).

Dès leur arrivée, le formulaire de consentement ainsi qu'une description partielle de nos objectifs de recherche (c.-à-d. étudier les mouvements de coach sans mentionner les hypothèses et les comportements attendus relatifs aux qualités des mouvements et aux émotions) ainsi qu'une description de la tâche à accomplir (c.-à-d. répéter la chorégraphie précédemment apprise trois fois) été donnés aux participants. Une condition dite contrôle (faible niveau d'arousal, agréabilité (valence) neutre) (C) commençait l'expérience. L'instruction générale était de reproduire la chorégraphie au mieux. Cette instruction était répétée avant chaque condition. Ensuite, une condition de valence positive (P) et une condition de valence négative (N) étaient contrebalancées entre les participants. La condition P consistait à reproduire la chorégraphie après avoir reçu une récompense (c.-à-d. du matériel informatique et des sucreries) et d'avoir regardé 1.30 minute de vidéos distrayante. La condition N consistait à reproduire la chorégraphie après que l'expérimentateur ai expliqué que la performance du participant était

CHAPITRE III : L'EXPRESSIVITE DU MOUVEMENT : IMPACT DU CONTEXTE EMOTIONNEL SUR LA VARIABILITE MOTRICE INTRA-INDIVIDUELLE.

retransmise en direct par vidéo projection dans un amphithéâtre rempli d'étudiants (simulé au moyen d'une fausse vidéo – figure 20). Entre les conditions, les participants remplissaient le DES et effectuaient une tâche de distraction cognitive (c.-à-d. mémoriser des mots).

La DEA était plus élevée (c.-à-d. augmentation de l'arousal) pour P ($M=1.8$ (10.2)) et N ($M=2.2$, (10.9)) comparé à C ($M=0.42$ (5.1)), respectivement ($z=-4.37$, $p<.001$) et ($z=-4.18$, $p<.001$). En calculant la valence par l'ajout des échelles des émotions du DES une diminution significative de celle-ci entre N et P ($Z=-2.18$, $P=.029$) a été observée (Giraud et coll. 2014). Ces résultats confirmaient la validité du protocole expérimentale d'éllicitation.



FIGURE 20 : IMPRESSION ECRAN D'UNE FAUSSE VIDEOPROJECTION VIA SKYPE PENDANT L'EXPERIENCE.

Données exportées

Les participants portaient une combinaison composée d'une veste, d'un pantalon, de chaussettes et d'un bonnet où 36 marqueurs étaient attachés suivant un ensemble de marqueurs spécifique au logiciel de capture de mouvement ARENA 1.7 (Hip1, Hip2, Hip3, Hip4, Chest1, Chest2, Chest3, Head1, Head2, Head3, LShoulder1, Lshoulder2, LUarm1, Luarm2, LHand1, Hand2, LHand3, RShoulder1, RShoulder2, RUarm1, Ruarm2, RHand1, RHand2, RHand3, LThigh1, LThigh2, LShin1, LShin2, LFoot1, LFoot2, RThigh1, RThigh2, RShin1, RShin2, RFoot1, RFoot2) (figure 21).

Les données standards de cinématique 3D (biomécanique) (fichier .BHV) ont été exportées dans MATLAB. Ces données correspondaient aux rotations autour des axes X, Y et Z de chaque segment au cours du temps en fonction du système de coordonnées parent-enfant. Les données standards de cinématique correspondant aux positions X, Y et Z des 36 marqueurs dans le repère global de la pièce de capture ont également été exportées. Ce procédé d'acquisition et de traitement des données pour calculer les paramètres du mouvement a été utilisé pour les expériences deux et trois.

CHAPITRE III :
L'EXPRESSIVITE DU MOUVEMENT : IMPACT DU CONTEXTE EMOTIONNEL SUR LA
VARIABILITE MOTRICE INTRA-INDIVIDUELLE.

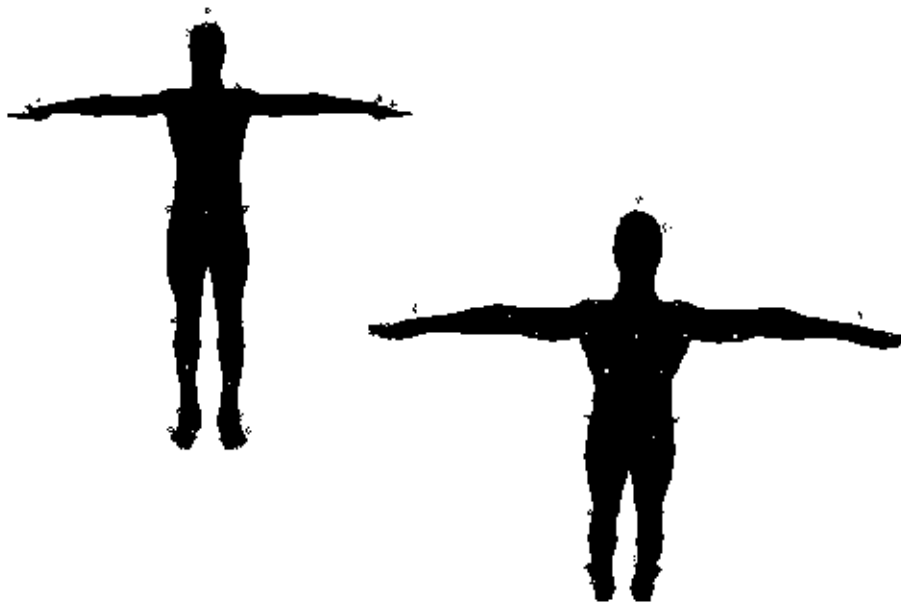


FIGURE 21 : ENSEMBLE DE 36 MARQUEURS POUR LA MOCAP.

Calcul de la variabilité intra-individuelle

Trois ST (énergie (E), caractère direct (D), étendue spatiale (SE)) ont été calculées pour leur corrélat de comportement selon le modèle de notation Effort-Shape de Laban. La rigidité (R) a été ajoutée, car les études précédentes ont montré l'importance de cette variable dans l'évaluation perceptive de l'expressivité de mouvements corporels (Montepare et coll. 1999). De plus, d'autres auteurs ont suggéré l'importance dans la reconnaissance d'émotion du rapport entre les articulations plutôt que le mouvement seul (Pollick et coll. 2001 ; Gross et coll. 2012). Ces auteurs se limitant toutefois à une analyse graphique d'un tracé d'articulation par rapport à une autre. Cette variable a été implémentée par le calcul. Les calculs des ST (tableau 6) retenus ont été validés (cas de l'énergie et de l'étendue spatiale) dans les études suivantes (Piana et coll. 2013 ; Kapadia et coll. 2013 ; Samadani et coll. 2013) et adaptés (cas du caractère direct).

La ST issue de l'effort poids a été calculée en ajoutant les ST des 18 membres (E). La ST issue de l'effort spatial a été calculée en additionnant les ST des 4 extrémités corporelles ((D) des deux mains et des deux pieds). La ST (R) a été calculée en additionnant cinq couples de ST (bas de la colonne – haut de la colonne, épaule droite – coude droit, épaule gauche – coude gauche, hanche droite – genou droit, hanche gauche – genou gauche). La ST de la qualité de forme a été calculée comme la ST globale SE. Finalement, 4 ST globales (E, D, R and SE) pour chaque bloc de chaque chorégraphie ont été utilisées.

Trois indices pour chaque ST ont été extraits. Un indice représentant globalement la position du signal : l'espérance mathématique (la moyenne d'ensemble). Un indice représentant la dispersion du signal, mesurant la fluctuation aléatoire autour de la moyenne et donc sa variabilité : l'écart-type. Un dernier indice complémentaire

CHAPITRE III :
L'EXPRESSIVITE DU MOUVEMENT : IMPACT DU CONTEXTE EMOTIONNEL SUR LA
VARIABILITE MOTRICE INTRA-INDIVIDUELLE.

des deux précédents: entropie approximée. En statistique, cette mesure permet de quantifier la régularité et prédictibilité de fluctuation sur des données de ST (Pincus et coll. 1991). Cette procédure a donnée ainsi un ensemble de 12 variables (tableau 7).

La procédure (chorégraphie, calcul des ST et des variables) sera répétée pour les deux autres expériences (figure 22).

TABLEAU 6: ST (INTERPRETATIONS ET EQUATIONS).

ST - Description	Équation
<p>Énergie. La variable « Weight effort » peut être déterminé comme l'énergie à chaque instant (t) au cours du temps. m_{membre} est l'approximation de la masse de chaque membre en fonction de la table de Winter (Winter 2004).</p> <p>Des valeurs élevées indiquent des mouvements énergétiques.</p>	<p>Eq 1 : $E_{membre} = \frac{1}{2} m * Vi(t)^2$</p> <p>$Vi(t)$, la magnitude de la vitesse angulaire du membre.</p>
<p>Caractère direct. La variable « Space effort » correspond au ratio entre la longueur de la trajectoire dans l'espace en 3 dimensions du mouvement d'une extrémité (c.-à-d. pied droit et gauche et main droite et gauche) du début jusqu'à la fin sur une fenêtre de temps de 0.5 seconde par la longueur de la trajectoire minimale reliant ces deux instants.</p> <p>Les mouvements directs sont caractérisés par des valeurs proches de 1 ; les mouvements indirects par des valeurs proches de 0.</p>	<p>EQUATION 2: CARACTERE DIRECT</p> <p>Eq 2 : $Directness_{extremite} = \frac{\sqrt{(x_E - x_S)^2 + (y_E - y_S)^2 + (z_E - z_S)^2}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x_{n+1} - x_n)^2 + (z_{n+1} - z_n)^2 + (y_{n+1} - y_n)^2}}$</p> <p>$x_E, y_E, z_E, x_S, y_S, z_S$, le début et la fin des trajectoires des extrémités en fonction des axes X, Y et Z.</p>
<p>Etendue spatiale. La variable « Shape-Qualities » fait référence à la ST étendue spatiale. Son calcul correspondant à la boîte 3D englobant le corps des participants au cours du temps. Cette boîte est définie par 6 valeurs spécifiques correspondant à la position minimale et maximale des marqueurs pour chacun des axes X, Y et Z.</p> <p>Ceci implique des valeurs basses quand le corps est rétracté et des valeurs hautes quand il est étendu.</p>	<p>EQUATION 3 : ETENDUE SPATIALE</p> <p>Eq 3 : $Spatial\ extent_{globale} = (x_{max} - x_{min}) * (y_{max} - y_{min}) * (z_{max} - z_{min}) (t)$</p> <p>$x_{min}, y_{min}, z_{min}, x_{max}, y_{max}, z_{max}$, Positions minimales et maximales de l'ensemble de marqueurs en fonction des 3 axes.</p>
<p>Rigidité est un complément au modèle LMA. Le calcul de la rigidité s'effectuant en calculant la covariation angulaire au cours du temps entre les angles des parents. (p. ex. épaule, hanche et colonne basse) et ceux des enfants (p. ex. coude, genou et colonne haute). Cette covariation est calculée sur une fenêtre de temps de 0.5s.</p> <p>Une valeur haute est signe d'une bonne covariation et donc d'une rigidité basse.</p>	<p>EQUATION 4: RIGIDITE</p> <p>Eq 4 : $Rigidity_{couple} = Cov(x_p, y_c)(t)$</p> <p>$x_p$ et y_c, respectivement les rotations nettes des articulations des parents et des enfants.</p>

CHAPITRE III :
L'EXPRESSIVITE DU MOUVEMENT : IMPACT DU CONTEXTE EMOTIONNEL SUR LA
VARIABILITE MOTRICE INTRA-INDIVIDUELLE.

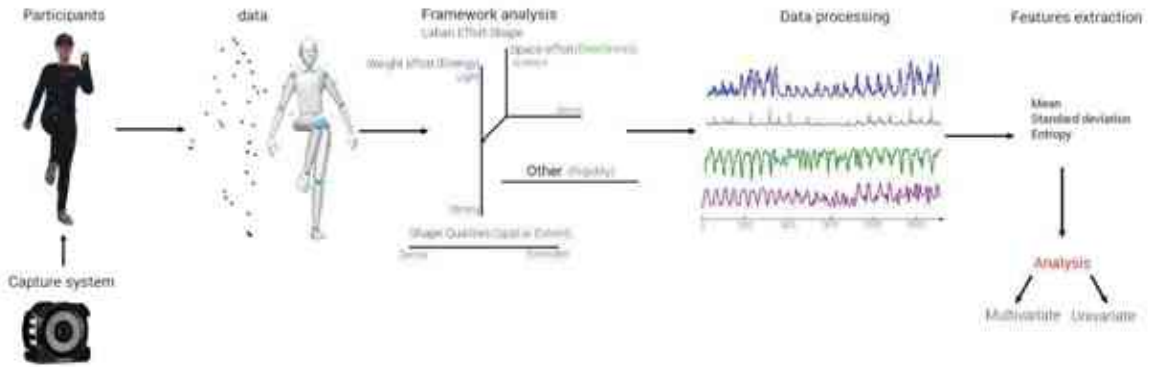


FIGURE 22 : RESUME DE LA METHODE DE L'EXPERIENCE I

TABLEAU 7: DENOMINATIONS ET CALCUL DES VARIABLES ISSUES DES ST.

Indices	Equations	Dénomination en fonction des ST			
		Energie	Caractère direct	Etendue spatiale	rigidité
EQUATION 5 : MOYENNE ARITHMETIQUE					
Moyenne	$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	E ou ME	D ou MD	SE ou MSE	R ou MR
EQUATION 6 : ECART TYPE					
Ecart type	$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - m)^2}$	SDE	SDD	SDSE	SDR
Entropie	Voir script Matlab ci-après.	EE	ED	ESE	ER

```

function saen = SampEn( dim, r, data, tau )
if nargin < 4, tau = 1; end
if tau > 1, data = downsample(data, tau); end
N = length(data);
correl = zeros(1,2);
dataMat = zeros (dim+1, N-dim);
for i = 1:dim+1
    dataMat(i,:) = data(i:N-dim+i-1);
end
for m = dim:dim+1
    count = zeros(1,N-dim);    tempMat = dataMat(1:m,:);
    for i = 1:N-m
        if m==1;
            dist = abs(bsxfun(@minus,tempMat(:,i+1:N- dim),tempMat(:,i)));
        else
            dist = max(abs(bsxfun(@minus,tempMat(:,i+1:N-dim),tempMat(:,i))));
        end
        D = (dist < r); count(i) = sum(D)/(N-dim);
    end
    correl(m-dim+1) = sum(count)/(N-dim);
end
saen = log(correl(1)/correl(2));
end

```

<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/35784-sample-entropy>

Statistiques

L'analyse de la variance (ANOVA) à mesures répétées n'a pas été exploitée entre les conditions. Une analyse multivariée de type GLMM afin de prédire certaines des échelles de réponse du questionnaire d'auto-évaluation a été utilisée. L'analyse statistique des données par GLMM est une méthode d'apprentissage supervisé qui crée un modèle permettant de lier une sortie au moyen de l'ensemble de 12 variables. Les observations peuvent également être corrélées. Il y a une forte probabilité pour que les mesures prises au sein d'un même participant durant les trois conditions aient été corrélées sur l'interception (effet aléatoire interception).

Pour construire un modèle mixte (Cheng et coll. 2010), il faut spécifier i) le modèle maximum, ii) un critère pour sélectionner le modèle et iii) une stratégie de sélection des prédicteurs (effets fixes). La sélection de la structure de l'effet aléatoire pour contrôler la variabilité interindividuelle et la structure de corrélation sont également importantes. Le modèle maximal prend en compte les 12 variables. Une stratégie d'élimination rétrograde pour réduire le nombre de variables et par la même la complexité du modèle prédictif a été appliquée. Pour comparer les différents modèles, le critère basé sur le -2 logs pseudo vraisemblance (-2LPL) a été utilisé. L'effet aléatoire interception a été choisi, car il y avait aucunes hypothèses sur l'évolution de la variabilité en fonction des conditions. Une matrice de covariance non structurée été sélectionnée. En n'imposant aucune contrainte sur les valeurs, de nombreux degrés de liberté été utilisés, mais ceci permettait d'avoir aucunes hypothèses. Pour comprendre les modèles, plusieurs indices (c.-à-d. F, significativité (P), -2LPL, valeurs prédites en fonction des valeurs observées(CR), les effets fixes importants (c.-à-d. variables prédictives significatives avec un $p < .05$), l'équation globale du modèle (c.-à-d. coefficients des variables prédictives) ont été nécessaires.

Cette méthode sera également utilisée dans l'étude III.

3.3 RESULTATS

Toutes les variables de l'expérience ont été transformées en Zscore.

La sortie (prédiction) du modèle aurait pu être catégorielle (c.-à-d. les conditions N, P et Neg), prédire les valeurs d'auto-évaluation (Attention et Joie et valence) perçues (affects) par les participants au cours de ces conditions était préférable. L'arousal mesuré par l'outil électrodermal était également prédit.

Il est bien évident que si le protocole a été validé par ces mesures, tous les participants ne sont pas impactés physiologiquement et ne scorent pas tous de la même façon. Néanmoins, leurs réponses motrices, physiologiques et leurs réponses subjectives au travers de l'auto-évaluation en fonction des conditions devraient être corrélées, ainsi l'effet aléatoire au niveau des participants pour estimer la part de la variabilité interindividuelle a été intégré.

CHAPITRE III :
L'EXPRESSIVITE DU MOUVEMENT : IMPACT DU CONTEXTE EMOTIONNEL SUR LA
VARIABILITE MOTRICE INTRA-INDIVIDUELLE.

*3.3.1 PREDICTION DES VALEURS DU QUESTIONNAIRE D'AUTO-EVALUATION, LA VALENCE
RESSENTIE*

Concernant le questionnaire, ces analyses sont significatives pour attention, joie et valence. Le modèle pour la surprise est intéressant, mais il n'est pas significatif. Pour les autres (c.-à-d. alerte, gauche, colère, paranoïa, attention, découragement et dégoût) le modèle ne converge pas.

TABLEAU 8 : RESUME DES ANALYSES GLMM POUR LA PREDICTION DES REPONSES AU QUESTIONNAIRE D'AUTO-EVALUATION.

Note: * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

	Informations sur les modèles		
	F	P	-2LPL
Attention	4.56	**	142.7
joie	3.6	*	140.1
Surprise	3.4	.07	162.3
Valence	3.38	*	147

La modélisation de la joie est la meilleure, avec un -2LPL plus bas (tableau 8). Ce critère est basé à la fois sur le critère d'information Akaike corrigé (AIC) et bayésien (BIC) : une valeur basse signifie que le modèle est plus simple et qu'il produit de meilleures prédictions. Les modèles de l'attention, de la joie et de la valence convergent, respectivement : $F(4, 55) = 4.56$, $p = .002$; $F(2, 57) = 3.6$, $p = .03$; $F(4, 55) = 3.38$, $p = .015$. La modélisation de la surprise ne converge pas malgré une forte tendance.

Pour se rendre compte du niveau de prédiction du modèle, le tracé des valeurs prédites en fonction des valeurs observées est un bon indicateur visuel. Les points proches de la diagonale signifient que le modèle prédit bien sûr toutes les plages de valeurs mesurées. La figure 23 correspond à ce tracé pour la modélisation de la valence.

CHAPITRE III :
L'EXPRESSIVITE DU MOUVEMENT : IMPACT DU CONTEXTE EMOTIONNEL SUR LA
VARIABILITE MOTRICE INTRA-INDIVIDUELLE.

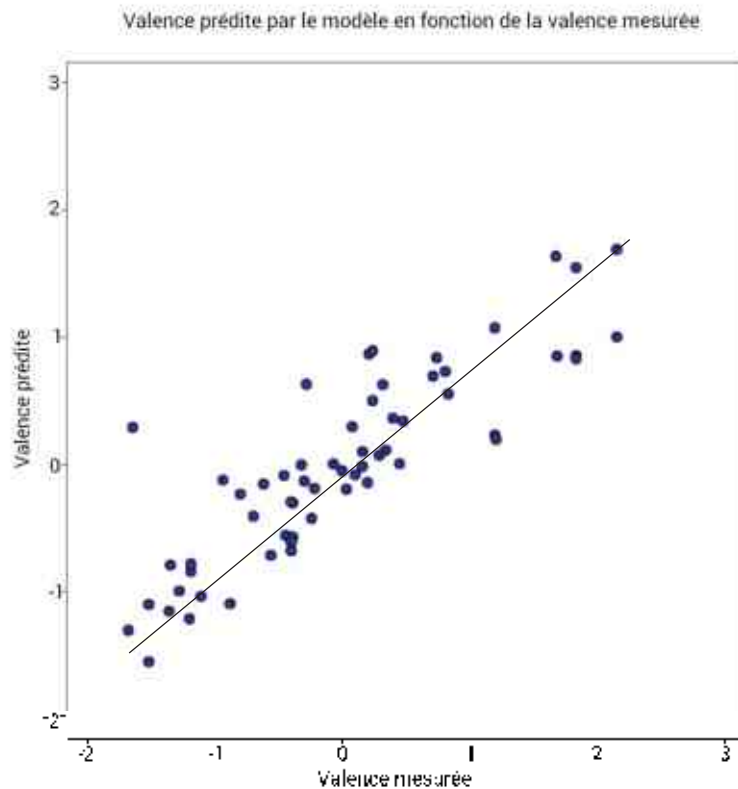


FIGURE 23 : UN EXEMPLE DE PREDICTION D'UNE SORTIE : LE MODELE DE LA VALENCE.

Le tableau 9 affiche les valeurs des coefficients des effets fixes (variables prédictives) ainsi que la variance des résidus (variance inexpliquée) et de l'effet aléatoire intercepts (variance de la variabilité interindividuelle).

Dans le cadre d'une valeur continue, le coefficient est le changement attendu pour la variable prédite pour une augmentation de 1 de l'effet fixe. Par exemple dans le cas du modèle pour l'attention, si MD prend un point de plus et que la valeur des autres variables ne change pas, l'attention augmentera de .65 : ceci montre une relation positive avec ces variables. Au contraire, si SDR augmente de 1 alors la valeur attendue pour l'attention baissera de .26.

CHAPITRE III :
L'EXPRESSIVITE DU MOUVEMENT : IMPACT DU CONTEXTE EMOTIONNEL SUR LA
VARIABILITE MOTRICE INTRA-INDIVIDUELLE.

**TABLEAU 9 : ESTIMATIONS DES EFFETS FIXES ET ESTIMATION DE LA VARIANCE-COVARIANCE POUR LES
DIFFERENTS MODELES.**

Note: * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

				Attention	Joie	Surprise	Valence
				Coefficient (significativité)			
Effets fixes	Expressivité	ST	Variables				
	Weight effort	Énergie	ME				1.2 *
			SDE		3.2 (.075)		-1.26 **
			EE				
	Space effort	Caractère direct	MD	.65 *			
			SDD				
			ED	.59 **			
	Shape qualities	Étendue spatiale	MSE				
			SDSE	.46 *			
			ESE				
Effets des résidus	Autre	Rigidité	MR				
			SDR	-.26 **			-.29 *
			ER		5.5 *	-.28 (.07)	-.34 *
			Variance	.27 ***	.29 ***	.62 ***	.37 ***
	Paramètre aléatoire		Variance	.91 **	.72 *	.32 (.074)	.53 *

Suivant le modèle :

- Pour une attention plus élevée des mouvements plus directs, une prédictibilité de la ST caractère direct moindre (plus la valeur d'entropie est élevée et plus il y a de désordre, moins de prédictibilité), une variabilité plus importante du volume corporel (étendue spatiale), mais une variabilité moindre de la rigidité.
- Pour une joie plus importante, une dégradation de la prédictibilité de la rigidité et une variabilité de l'énergie plus grande.
- Pour une surprise élevée, au contraire, une prédictibilité de la rigidité plus importante bien que l'effet ne soit pas significatif.
- Enfin pour la valence, des valeurs plus élevées correspondront à des mouvements plus énergiques, mais moins variables pour les ST énergie et rigidité. La prédictibilité de la rigidité sera cependant réduite.

Dans tous les modèles, exceptés pour celui de la surprise, la variance estimée de l'effet aléatoire est plus importante que la variance des résidus. Cela signifie que pour ces modèles, la plupart de la variabilité qui n'est pas expliquée par les effets fixes (variables prédictives) peut être expliquée par les variations interindividuelles des participants.

CHAPITRE III :
L'EXPRESSIVITE DU MOUVEMENT : IMPACT DU CONTEXTE EMOTIONNEL SUR LA
VARIABILITE MOTRICE INTRA-INDIVIDUELLE.

3.3.2 PREDICTION DES VALEURS DE L'ACTIVITE ELECTRODERMALE, L'AROUSAL MESURE

Pour la prédiction de l'arousal : le modèle est largement significatif tout en étant bien moins complexe que pour les questionnaires d'auto-évaluation $F(1,58)=15$ (tableau 10).

**TABLEAU 10 : RESUME DES ANALYSES GLMM POUR LA PREDICTION DES VALEURS DE L'AROUSAL MESURE
CHEZ LES PARTICIPANTS.**

Note: * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

	Informations sur les modèles		
	F	P	-2LPL
Arousal	15	<.001***	91.4

Pour faciliter la lecture, les variables prédictibles qui n'apparaissent pas dans ce modèle ont été enlevées. Au final, seulement ME permet la prédiction du niveau d'arousal mesuré chez les participants (tableau 11). Pour une valeur d'arousal plus importante de .28 points, l'énergie des mouvements se verra augmentée de 1.

**TABLEAU 11 : ESTIMATIONS DES EFFETS FIXES ET ESTIMATION DE LA VARIANCE-COVARIANCE POUR LE
MODELE.**

Note: * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

			Arousal	
			Coefficient (significativité)	
Effets fixes	Expressivité	ST	Variables	
	Weight effort	Énergie	ME	.28 ***
Effets des résidus			Variance	.07 ***
Paramètre aléatoire			Variance	1 ***

La variance estimée de l'effet aléatoire étant beaucoup plus importante que la variance des résidus, une forte variabilité interindividuelle est présente pour la mesure de l'arousal.

La figure 24 montre la prédiction de la mesure en fonction des relevés chez les participants.

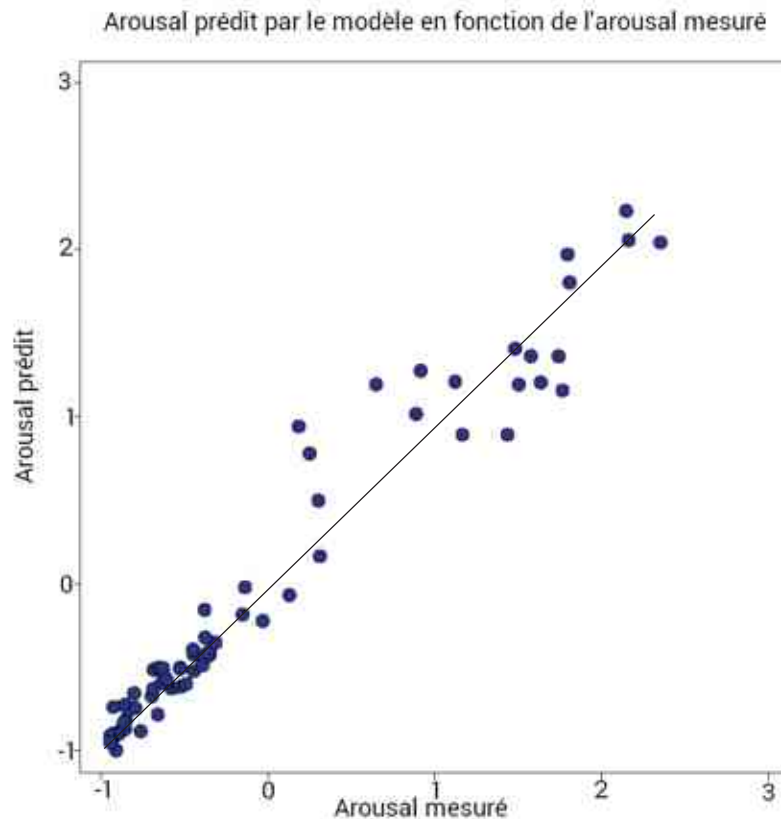


FIGURE 24 : PREDICTION DE LA SORTIE : LE MODELE DE L'AROUSAL.

3.4 DISCUSSION

Dans cette étude, l'objectif était de caractériser les variabilités intra-individuelles des expressivités du mouvement spontané dans le cadre d'affects élicités dans un contexte écologique d'une tâche sportive de fitness.

La chorégraphie des mouvements utilisée dans le cadre de la tâche et créée pour cette étude a été choisie pour être un bon compromis entre un patron de mouvement automatique prédéfini (p. ex. la marche (Michalak et coll. 2009) et des mouvements actés libres (p. ex. la danse (Van Dyck et coll. 2013)). Afin d'optimiser le rapport entre le signal pertinent et le bruit et évitant les patrons de coordinations motrices trop rigides : elle permettrait de capturer au mieux la signature de l'affect dans le mouvement.

Un protocole d'induction des affects visant à déclencher des réponses affectives (comportementales) aussi spontanées que possible contrairement à de précédentes études (Crane et coll. 2009 ; Kang et Gross, 2011) a été conçu. Deux affects (c.-à-d. bonheur et stress) pouvant être interprétés dans une approche dimensionnelle et souvent rencontrés par les coachs sportifs ont été choisis. Ces conditions ont été définies dans un protocole

CHAPITRE III : L'EXPRESSIVITE DU MOUVEMENT : IMPACT DU CONTEXTE EMOTIONNEL SUR LA VARIABILITE MOTRICE INTRA-INDIVIDUELLE.

d'élicitation novateur. Un questionnaire d'auto-évaluation (DES) et complémentirement un outil physiologique permettant de mesurer la DEA ont été utilisés. Ces mesures ont servi à la fois à valider le protocole et également à analyser la réponse subjective et objective (quantifiable par la mesure) des participants, à nos conditions. La littérature a mis en évidence qu'une condition stressante n'était pas nécessairement perçue comme négative par les participants (Oudejans et coll. 2010). Les étudiants en sport auraient pu s'auto-stimuler pour reproduire la tâche ; ainsi, prédire les valeurs de l'auto-évaluation et la valeur du DEA plutôt que de prendre les conditions comme « ground-truth » était préférable.

Pour réduire le nombre de dimensions tout en augmentant l'interprétabilité des variables, le LMA et la rigidité ont été utilisés. Précédemment considéré dans d'autres études similaires (Gross et coll. 2010 ; Gross et coll. 2012 ; Dael et coll. 2012 ; Crane et Gross, 2013) la rigidité a déjà été utilisée uniquement en annotation subjective mais seulement dans une étude (Montepare et coll. 1999). Souhaitant caractériser au mieux ces ST, trois variables : la moyenne, représentative de la valeur globale de la ST ; l'écart-type, représentant sa variabilité - sa distribution et, l'entropie, exprimant sa prédictibilité ont été utilisées. Cette dernière n'a jamais été examinée dans les études similaires.

En ligne avec les précédentes études une supposition forte était de trouver des différences et un rapport certain entre l'arousal et l'énergie. Pour la valence et les émotions à plus faible arousal ; la littérature renseignait sur les difficultés de discrétisations. L'hypothèse de modèles plus complexes et de résultats moins probants a été formulée. Si la rigidité a été utilisée que dans une étude perceptive, le profit de cette variable pour mettre en exergue les conditions de valence différentes a été examiné. Les modèles de types GLMM qui sont largement employés en psychologie (Juhel et Rouxel, 2015) et qui sont pertinents pour contrôler la variabilité interindividuelle et souligner la variabilité intra-individuelle dans le cadre de cette étude ont été testés.

Avec un modèle fortement significatif, la seule variable (ME) permettait de prédire les valeurs d'arousal mesurées (DEA). Cette excellente prédiction de l'arousal était rendue possible par le fort lien positif entre l'énergie et l'arousal. Ces résultats sont en accord avec les études similaires associant constamment l'énergie et la quantité de mouvement à des émotions à fort arousal telles que la joie ou la colère (Wallbott, 1998 ; Gross et coll. 2010 ; Gross et coll. 2012 ; Montepare et coll. 1999 ; Dahl et Friberg, 2007 ; Glowinski et coll. 2011 ; Samadani et coll. 2013 ; Van Dyck et coll. 2013 ; Crane et Gross, 2013), la peur ou le dégoût (Meijer, 1989).

La valence est également prédite par le modèle bien que plus complexe comme attendu (Kruskal et Wish, 1978 ; Gross et coll. 2012 ; Glowinski et coll. 2011). Les deux expressivités dont sont tirées les variables prédictives sont l'énergie (ME et SDE) et la rigidité (SDR et ER). Une valence positive était associée à une augmentation de l'énergie avec un niveau plus constant ainsi qu'un niveau plus constant et plus prédictible de la ST rigidité. L'énergie a déjà été associée avec les émotions positives (Montepare et coll. 1999 ; Gross et coll. 2012 ; Van Dyck et coll. 2013) au contraire de la rigidité (Montepare et coll. 1999). Les analyses sur la variabilité et la prédictibilité des ST étant novatrices, il est impossible à l'heure actuelle de les comparer avec d'autres études. Faire baisser la variabilité peut-être une stratégie pour faciliter les coordinations interpersonnelles (Sacheli et coll. 2013). Ceci suggérerait qu'être dans un état de valence positive serait préférable pour interagir. L'énergie étant fortement en rapport avec la vitesse, une baisse de sa variabilité correspond à des valeurs plus faibles de

CHAPITRE III : L'EXPRESSIVITE DU MOUVEMENT : IMPACT DU CONTEXTE EMOTIONNEL SUR LA VARIABILITE MOTRICE INTRA-INDIVIDUELLE.

d'impulsivité ou des valeurs plus hautes de fluidité ST précédemment utilisées dans la littérature (Castellano et coll. 2007 ; Gross et coll. 2010 ; Van Dyck et coll. 2013). À niveau d'arousal identique, peu d'études mettent en relation ces ST avec la valence. Dans une étude précédente, l'impulsivité était plus élevée dans les émotions négatives que positives (Glowinski et coll. 2011) ce qui est en accord avec nos faibles variations d'énergie. Montepare (1999) a également trouvé une corrélation négative entre la condition négative et la fluidité (mouvement tremblant) et une relation positive entre la condition neutre et la fluidité (mouvement fluide).

La modélisation et la prédiction fonctionnaient également pour la joie et l'attention. Concernant la joie, les variables prédictives étaient SDE et ER. Une augmentation de la joie ressentie était en relation avec une augmentation de la variabilité de l'énergie et une diminution de la prédictibilité de la rigidité. Ce sont des résultats prometteurs qui sont en accord avec (Frijda, 1987), qui décrit les tendances à l'action comme « étant de plus en plus vagues lorsque les émotions sont positives » (p. ex. la joie). L'activité motrice étant « non spécifique » et moins contrainte dans ce cas, et peut ainsi amener à une activation plus libre et donc des patrons moins prédictifs.

L'attention était caractérisée par des mouvements plus directs, moins prédictibles, plus variables dans l'étendue, mais avec une diminution de la variabilité dans la rigidité. L'attention n'a jamais été étudiée, mais on peut imaginer que des mouvements directs et constants dans leur rigidité sont en accord avec une concentration plus importante des participants. La rigidité a été primordiale dans la convergence de tous les modèles, excepté pour l'arousal. L'étude de cette ST est intéressante pour les futures études dans ce cadre.

Enfin, les modèles qui convergeaient voient une part importante de la variabilité interindividuelle modélisée par les effets aléatoires. Ces effets étaient significatifs dans les modèles. La variabilité interindividuelle doit à la fois être prise en compte quand on analyse la variabilité intra-individuelle et est une source non négligeable et intéressante à examiner pour de futures analyses (Giraud, 2015).

3.5 SYNTHESE

- Un protocole écologique d'induction des affects visant à déclencher des réponses comportementales spontanées a été testé sur des étudiants en sport.
- Les trois conditions (neutre, bonheur et stress) ont induit des affects différents en fonction des individus, mais également déclenchées des réponses motrices variées.
- Les variables prédictives ont été soigneusement choisies pour qualifier les ST. Ces ST et leurs variables extraites ont un sens et permettent de faire le lien entre le subjectif et le quantifiable.
- L'énergie qualifie l'arousal, pour la valence les modèles sont plus complexes et utilisent différentes expressivités, notamment la «rigidité».
- La joie est reliée à une variabilité plus grande et une prédictibilité moindre des ST.
- Pour auto-évaluer et mesurer les effets de la valence et de l'arousal ainsi que différentes émotions discrètes des analyses multivariées prenant en compte la variabilité interindividuelle (effet aléatoire) ont été choisies.
- Ce cadre d'étude et les analyses GLMM peuvent être utilisés pour d'autres analyses et d'autres populations pour étudier la variabilité intra et interindividuelle et améliorer la compréhension de la mesure.

L'affect est une source importante de variabilité du mouvement, ce n'est pas la seule. Dans l'étude suivante, le rôle du statut et des contextes d'interactions sur les différences intra-individuelles de la réponse motrice a été mis en évidence.

CHAPITRE IV :

L'EXPRESSIVITE DU MOUVEMENT: VARIABILITE INTRA-INDIVIDUELLE LORS DE L'INTERACTION DYADIQUE COACH-NOVICE.

4.1 Introduction	66
4.1.1 Objectifs	66
4.1.2 Hypothèses	67
4.2 Méthode	68
4.3 Résultats	72
4.3.1 Des populations différentes	72
4.3.2 Espace des expressivités	77
4.4 Discussion.....	79
4.5 Synthèse	81

4.1 INTRODUCTION

Comment le contexte social influence la variabilité et l'expressivité du mouvement ? Une part de la variabilité des signaux sociaux peut provenir du contexte, de la tâche et de diverses sources de différences interindividuelles dans la dyade (c.-à-d. culture, genre, statut, expériences) (cf. chapitre 2). Aucune étude n'a encore étudié l'influence du statut et du contexte d'interaction sur le mouvement au cours d'une expérience de MOCAP corps entier. Dans le cadre d'étude des facteurs d'interactions d'un coach de fitness et d'un novice, deux types de participants venant de populations différentes (c.-à-d. des spécialistes du mouvement et des novices) ont été recrutés. L'impact de la présence (c.-à-d. facilitation sociale), du statut (coach – élève) et d'un contexte d'interaction (c.-à-d. meneur suiveur ou coaction) sera analysé grâce aux variables issues de même ST que dans la première étude (c.-à-d. énergie, étendue spatiale, caractère direct, rigidité). Ceci implique donc un dispositif de MOCAP optoélectronique. Pour éviter que l'étude ait un biais dû au genre, les dyades ont été composées de personnes de même sexe (cf. 2.3.2). Pour comparer les conditions entre elles, des ANOVA à mesures répétées avec ajustement de Bonferroni ont été réalisées.

4.1.1 OBJECTIFS

Cette étude présente quatre objectifs :

1. Mettre en évidence la relation entre expressivité et statut.
2. Mettre en évidence la relation entre expressivité et facilitation sociale.
3. Montrer qu'une tâche de coaction sans meneur déplace l'espace des expressivités (c.-à-d. façon globale de faire le mouvement prenant en compte toutes les expressivités).
4. Montrer que lors de l'apprentissage moteur du coach au novice, l'expressivité du coach est signée d'une façon particulière, facilitant l'apprentissage (c.-à-d. prédictible, ralentissement des mouvements).

4.1.2 HYPOTHESES

L'espace des expressivités, la variabilité ainsi que la prédictibilité des ST différemment devraient évoluées en fonction de la population et de la condition (tableau 12)

TABLEAU 12: HYPOTHESES EN FONCTION DES CONDITIONS.

Note : C (conditions), E, SE, D, R (expressivités).

Espace des expressivités					
	Coach	Novice		Variabilité et prédictibilité	
C1	E+ SE+ R-	E- SE- R+		Coach	Novice
C1→C2	X	E, SE vers coach	C1→C4	Variabilité réduite	X
C2→C3	E- SE+	E, SE vers coach ; R+		Prédictibilité augmentée	
C3→C4	Espace expressivité : Où se rencontrent-ils ?		C1→C5	Variabilité réduite	X
C4→C5	SE+, E-, R-	E, SE vers coach ; R+		Prédictibilité augmentée	
	Espace expressivité : Converge vers le coach ?				

H1 : Des expressivités différentes en fonction des groupes (coachs, novices) : plus de dynamique des mouvements (E+) et d'espace (SE+) ainsi que moins de rigidité (R-) chez le coach.

H2 : La présence sociale impacte le novice, son expressivité se déplace vers celle du coach. Ce phénomène étant très subtil du fait que le coach n'est pas visible. Le coach n'est pas impacté.

H3 : L'annonce du statut impacte les deux populations différemment. L'estime de soi pour le coach et le phénomène de facilitation sociale chez le novice sont renforcés. Ceci conduit à des déplacements d'expressivités.

H4 : Le cadre de passation entre les conditions quatre et cinq (c.-à-d. avec ou sans meneur) questionne le déplacement de l'expressivité. Celle-ci devrait respectivement ne pas converger au milieu de l'espace des expressivités entre le coach et le novice, et converger vers le coach en fonction de la condition quatre et de la condition cinq.

H5 : Le coach réduit sa variabilité et augmente sa prédictibilité pour faciliter les interactions et l'apprentissage dans les conditions où il est face au novice, ce phénomène est amplifié dans la dernière condition. La rigidité baisse, l'étendue des mouvements augmente.

4.2 METHODE

Participants

Trente participants âgés de 21 à 32 ans (15 femmes; Mage = 24, SD = 2.1) ont pris part à l'étude après avoir donné leur accord par écrit et avoir été informés de la procédure expérimentale comme il est requis par la déclaration d'Helsinki et le comité local d'éthique EA 4532.

Les participants ont été séparés en deux groupes. Le premier groupe était composé de 10 participants (dont 5 femmes) et était considéré comme expert du mouvement, car pratiquant des sports tels que la danse, la capoeira ou le fitness à raison d'une moyenne de 3.1 h de sport hebdomadaire. Le second groupe était composé de vingt participants (dont 10 femmes) n'ayant jamais pratiqué de sport du même type que le premier groupe.

Tâche

Une vidéo de la chorégraphie a été envoyée aux participants des deux groupes une semaine avant la passation expérimentale. Il était demandé aux participants de regarder la vidéo et d'apprendre la chorégraphie de fitness dans le but de pouvoir la reproduire le jour de l'expérimentation. Le protocole de l'expérience était basé sur des mesures répétées (c.-à-d. 5) afin d'évaluer le changement dans les caractéristiques du mouvement à un niveau intra-individuel. Pour le groupe des experts la chorégraphie commençait pied droit. Pour le groupe des novices, elle commençait pied gauche. Pour plus de détails sur la chorégraphie se reporter au paragraphe « Tâche » du chapitre III.

Procédure

Les participants étaient payés 8 € pour chaque passation. Le premier groupe est passé deux fois et le premier groupe une fois. Des dyades de même sexe avec un participant du premier groupe expert (coach) et un participant du second groupe novice ont été composées. Chaque coach rencontrait deux novices différents pour les besoins de l'expérimentation. À chaque fois, la dyade était considérée comme une nouvelle unité, car était le fruit d'un mélange de deux personnalités différentes.

Les mouvements des participants étaient collectés en utilisant un système de capture du mouvement optoélectronique corps entier (figure 25). Le système était équipé de dix-huit caméras infrarouges (système FLEX 3 Optitrack, fréquence: 100 Hz, résolution: 640*480).

Dès leur arrivée, le formulaire de consentement ainsi qu'une description partielle de nos buts de recherche (c.-à-d. créer un coach virtuel) et une description de la tâche à accomplir (c.-à-d. répéter la chorégraphie précédemment apprise quatre fois) étaient donnés aux participants.

Cinq conditions ont été créées. Elles étaient à la suite pour les besoins de l'expérience. Le tableau 13 donne le plan et la description des conditions.



FIGURE 25 : LES PARTICIPANTS FACE A FACE DANS LA SALLE DE MOCAP LORS DE L'EXPERIENCE II.

TABLEAU 13 : DESCRIPTIFS DES CONDITIONS DE PASSATIONS POUR LE COACH ET L'ELEVE.

Conditions N°	Plan	Description
1 coach	Le coach est seul dans la salle de capture. Pendant ce temps, le novice est dans une autre salle.	Les coachs sont placés sur une des deux croix posées sur le sol de la salle de capture. Les croix sont espacées de 2.5m. L'expérimentateur demande au coach de se positionner sur la croix, face à un mur (dans la direction opposée de l'autre croix et de réaliser 4 fois, 3 chorégraphies quand il est prêt.
1 élève	Le novice est seul dans la salle de capture. Pendant ce temps, le coach est dans une autre salle.	Les novices sont placés sur une des deux croix posées sur le sol de la salle de capture. L'expérimentateur demande au novice de se positionner sur la croix, face à un mur (dans la direction opposée de l'autre croix et de réaliser 4 fois, 3 chorégraphies quand il est prêt.
2	Le coach et le novice sont dos à dos dans la salle de capture	Au début de cette condition, l'expérimentateur demande à la fois au coach et au novice de ne pas communiquer avec la voix, le regard ou les expressions faciales pendant la durée de l'expérience (ils ne se sont pas rencontrés auparavant). Ils sont positionnés comme à la première condition (c.-à-d. en face d'un mur, ils ne se voyaient pas). L'expérimentateur demande de réaliser 4 fois, 3 chorégraphies quand ils sont prêts.
3	Le coach et le novice sont dos à dos dans la salle de capture	Au début de cette condition, l'expérimentateur communique au coach et au novice leur rôle respectif pendant le reste de l'expérimentation. « [participant X] tu seras le coach, car tu es un expert dans le mouvement. [Participant Y] tu seras le novice, car tu n'as pas d'expertise particulière en dance, fitness... » Cette condition est proche de la seconde, le seul changement étant l'annonce du statut. L'expérimentateur demande ensuite de réaliser 4 fois, 3 chorégraphies quand ils sont prêts.
4	Le coach et le novice sont face à face dans la salle de capture	Au début de cette condition, l'expérimentateur demande au coach et au novice de se tourner face à face. L'expérimentateur demande ensuite de réaliser 4 fois, 3 chorégraphies quand ils étaient prêts.
5	Le coach et le novice sont face à face dans la salle de capture	Au début de cette condition, l'expérimentateur demande au coach de faire apprendre la chorégraphie au novice dans le but d'améliorer la qualité de ses mouvements. L'expérimentateur demande au novice de suivre les instructions motrices du coach pendant la chorégraphie. « Le coach est l'exemple à suivre ». Il est ensuite demandé de réaliser 4 fois, 3 chorégraphies quand ils sont prêts.



FIGURE 2 : DIFFERENTES CONDITIONS PENDANT L'EXPERIMENTATION DEUX.
À gauche : condition 4 - à droite : condition 6.

Données exportées

Se reporter à la section Données exportées du chapitre III.

Calcul de la variabilité intra-individuelle

Se reporter à la section Calcul de la variabilité intra-individuelle du chapitre III.

Statistiques

Pour cette étude, il ne serait pas adapté de prédire les différentes conditions au moyen des GLMM. Il est ici plus intéressant d'exploiter les comparaisons appariées des post-hoc avec ajustements de Bonferroni du test statistique de type ANOVA à mesures répétées et ainsi de voir les différences entre les conditions pour l'expressivité du mouvement variable par variable pour le coach, et pour le novice. Il sera intéressant de voir comment les populations évoluent globalement dans l'espace des expressivités.

4.3 RESULTATS

Toutes les variables de l'expérience deux ont été transformées en Zscore.

4.3.1 DES POPULATIONS DIFFERENTES

Existent-ils des différences entre les deux groupes au cours des conditions ? Des ANOVA sur chacune des 12 variables par conditions avec comme facteur la population ont été réalisées. La figure 27 regroupe les résultats significatifs en fonction des conditions.

Dès la première condition, la population des coaches affiche une énergie plus élevée $F(1,37)=8.27$, une variation du caractère direct plus importante $F(1,37)=7.58$, et une prédictibilité du caractère direct $F(1,37)=4.9$ et de l'énergie $F(1,37)=17.6$ moindres.

Il faut ensuite attendre la dernière condition pour voir un changement d'expressivité significatif entre les populations. La rigidité moyenne est moins importante pour les coaches $F(1,37)=5.6$ que pour les novices dans cette cinquième condition.

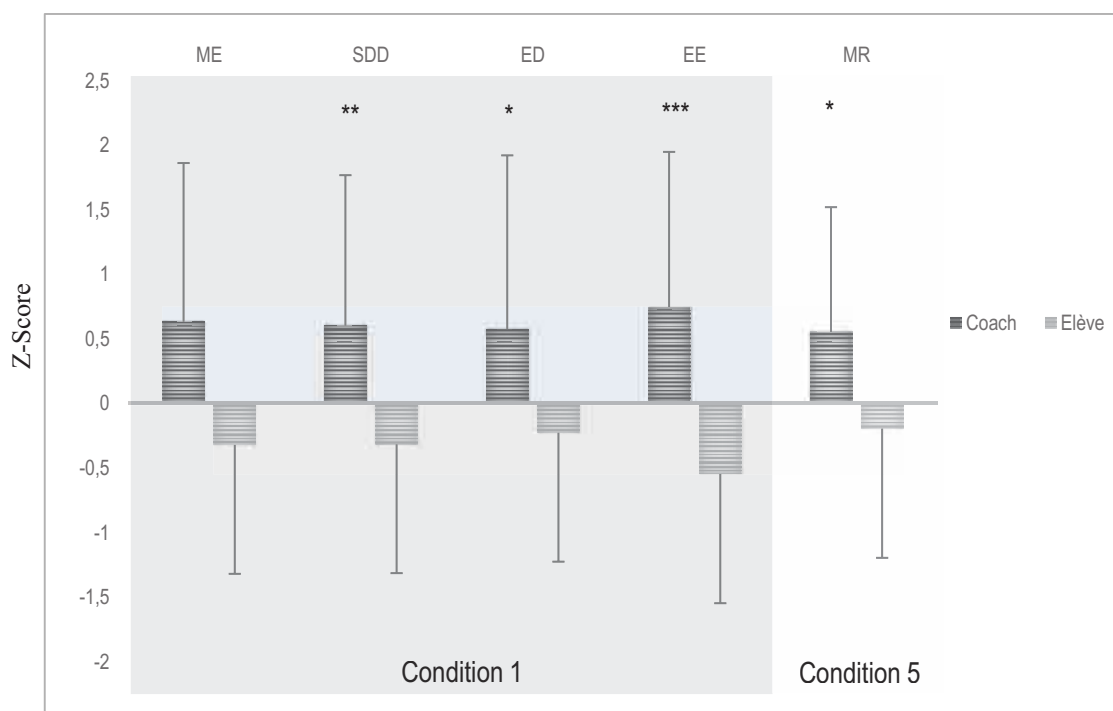


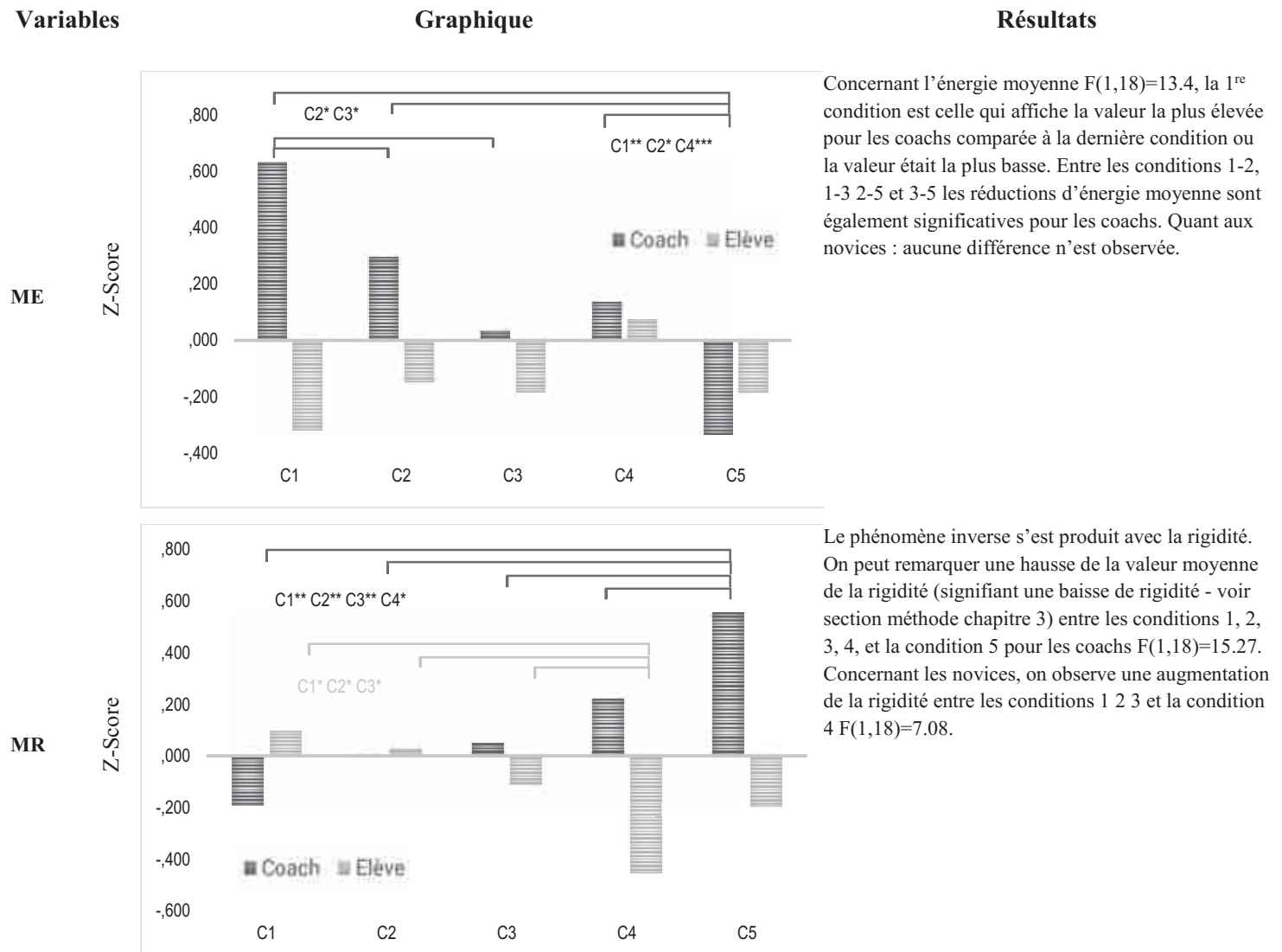
FIGURE 27 : DIFFERENTES POPULATIONS POUR DIFFERENTES EXPRESSIVITES AU FIL DES CONDITIONS

Note: * $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < .001$

Comment évoluent les variables pour chacun des groupes ? Les tests post-hoc sont ajustés selon la méthode de correction de Bonferonni. Seules les variables étant significatives sont affichées dans le tableau 14 suivant.

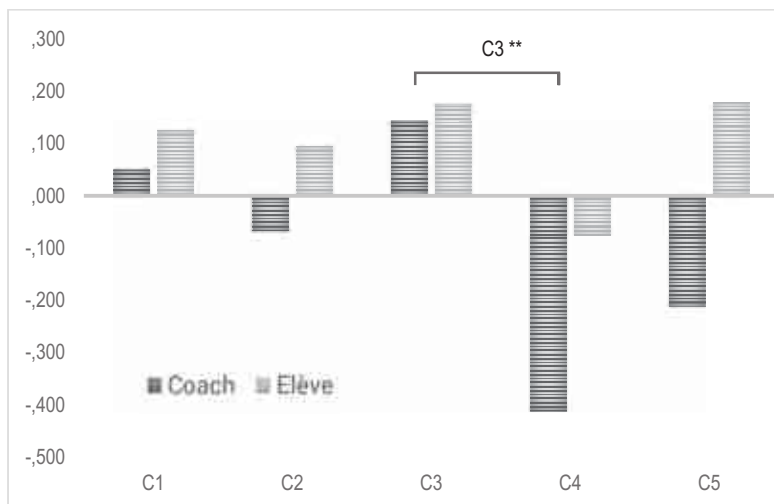
TABEAU 14 : EVOLUTION DES VARIABLES AU COURS DES CONDITIONS CHEZ LES COACHS ET LES ELEVES.

Note: * $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < .001$.



MD

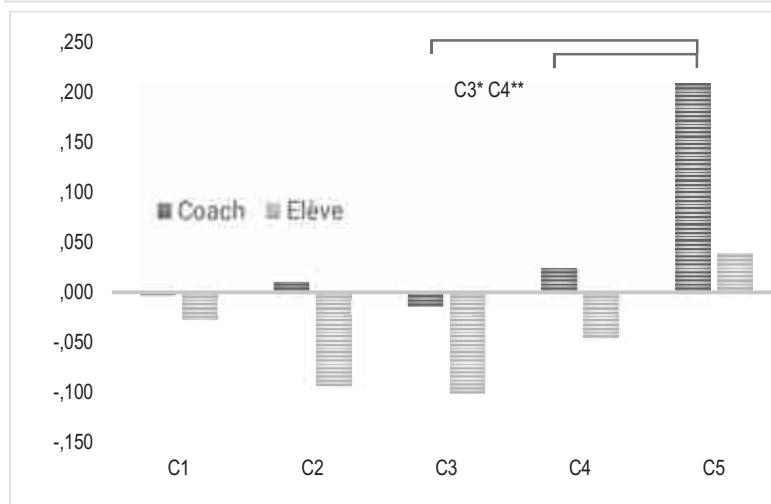
Z-Score



Entre la condition 3 et la condition 4 il y a une baisse du caractère direct (mouvements moins directs) chez les coaches $F(1,18)=3.15$. Aucune différence n'est observée chez les novices.

MSE

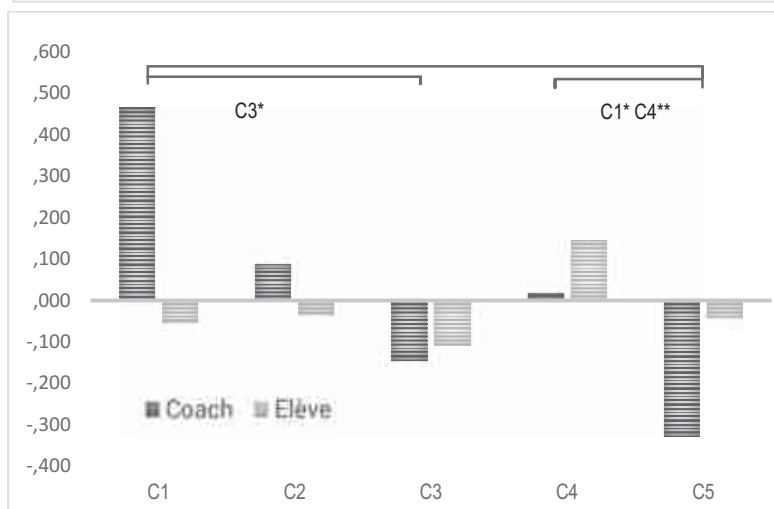
Z-Score



L'étendue spatiale (mouvements plus étendus dans l'espace) est plus élevée chez les coaches pour la dernière condition comparée à la condition 3 et à la condition 4 $F(1,18)=2.5$. Le groupe des novices varie très peu malgré une expansion des mouvements dans la dernière condition qui n'est pas significative.

SDE

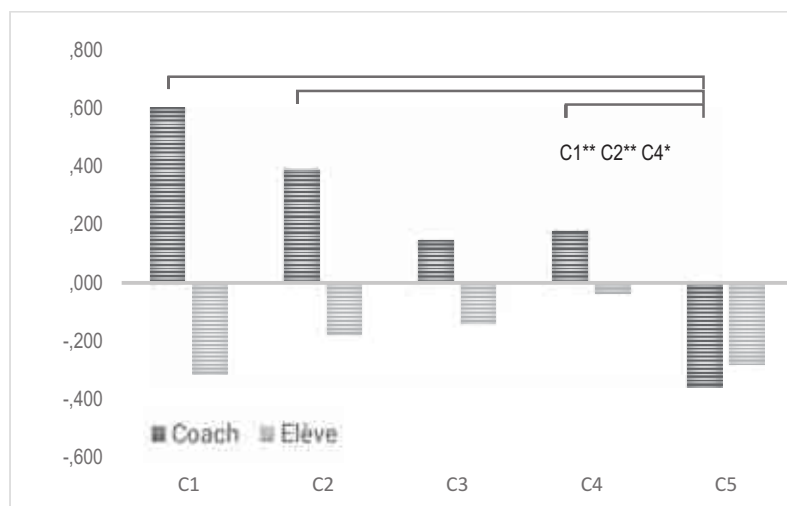
Z-Score



La dispersion de la ST énergie est la plus élevée dans la 1^{re} condition pour les coaches, plus basse dans la troisième condition et très basse dans la dernière condition. Cela démontre une baisse de la variabilité au cours du temps chez les coaches $F(1,18)=10$. Aucun effet n'est observé pour la population des novices.

SDD

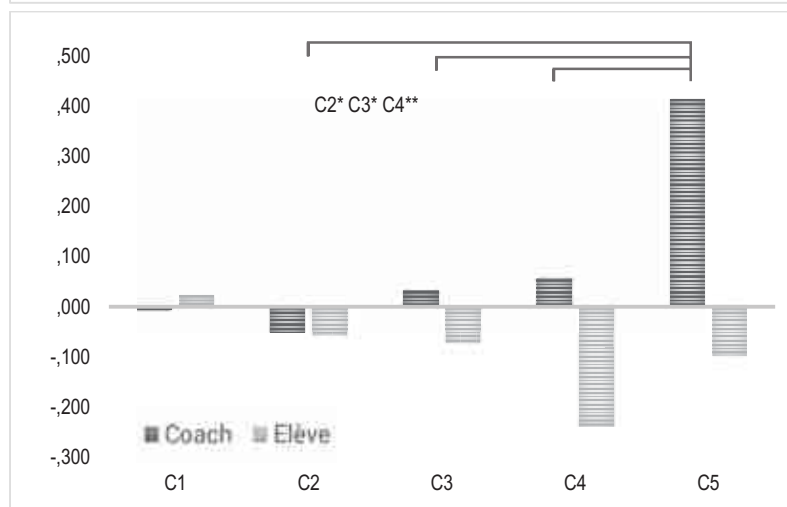
Z-Score



De la même façon, les coaches réduisent leur variabilité au cours du temps sur caractère direct $F(1,18)=24$. Aucun effet chez la population des novices n'a été relevé.

SDSE

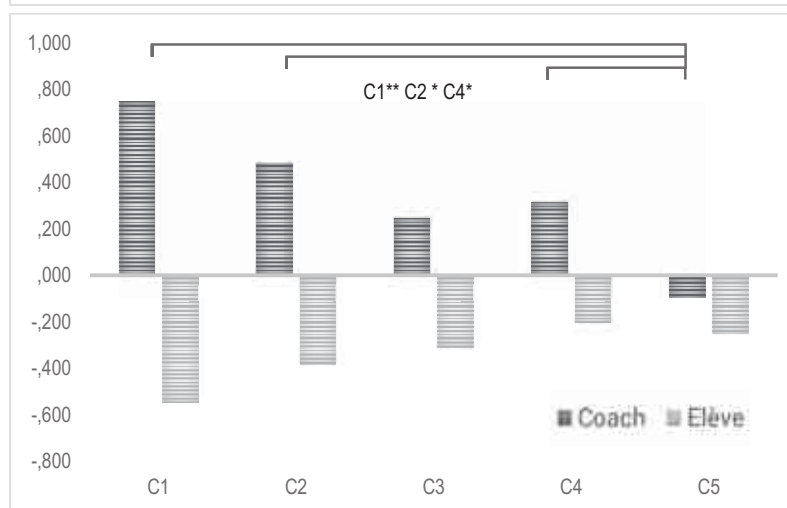
Z-Score



La variabilité de la ST étendue spatiale est plus importante dans la dernière condition comparée aux conditions 2, 3 et 4 chez les coaches $F(1,18)=5.35$. La baisse importante de la variabilité de cette ST chez les novices en condition 4 n'est pas significative.

EE

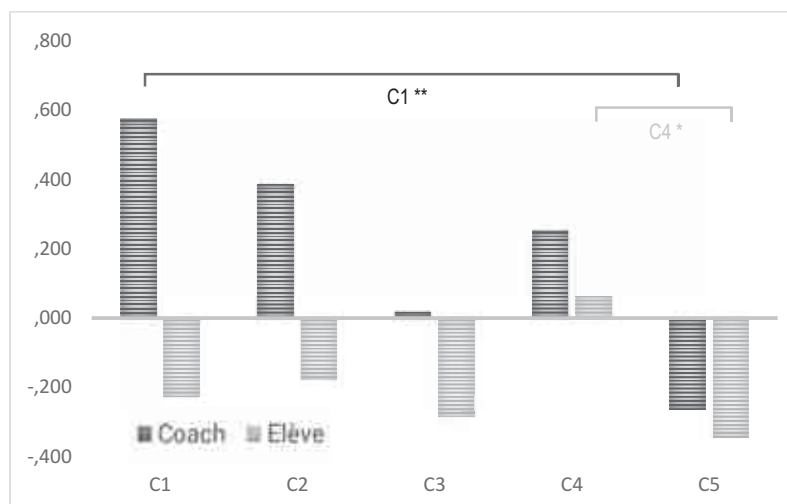
Z-Score



Concernant l'entropie de l'énergie, les coaches ont une forte tendance à devenir plus prédictible (valeurs qui diminuent) au cours des conditions $F(1,12)=14.8$. C'est notamment vrai pour la dernière condition qui est significativement plus basse que les conditions 1, 2 et 4. Quant aux novices, ils tendent à devenir de moins en moins prédictibles, mais aucun effet significatif n'est observé.

ED

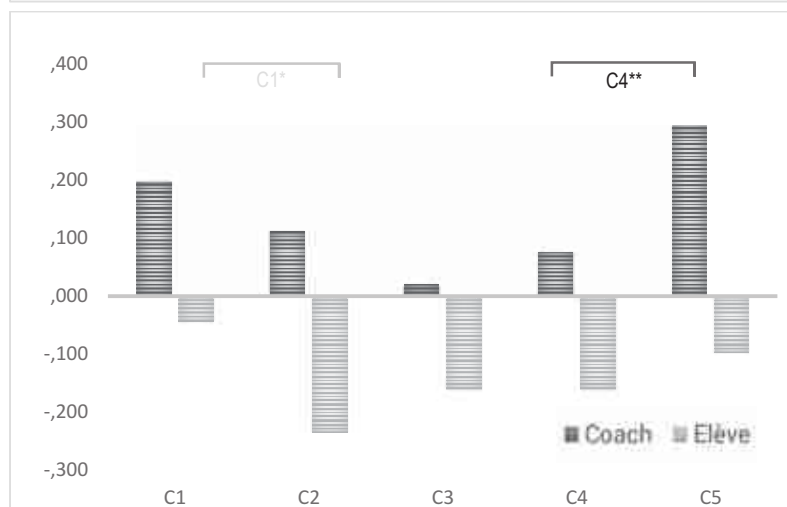
Z-Score



Une augmentation de la prédictibilité chez les coachs $F(1,18)= 11.7$ et chez les novices $F(1,18)= 2.6$ lors de la dernière condition comparée respectivement à la condition 1 et la condition 4.

ESE

Z-Score



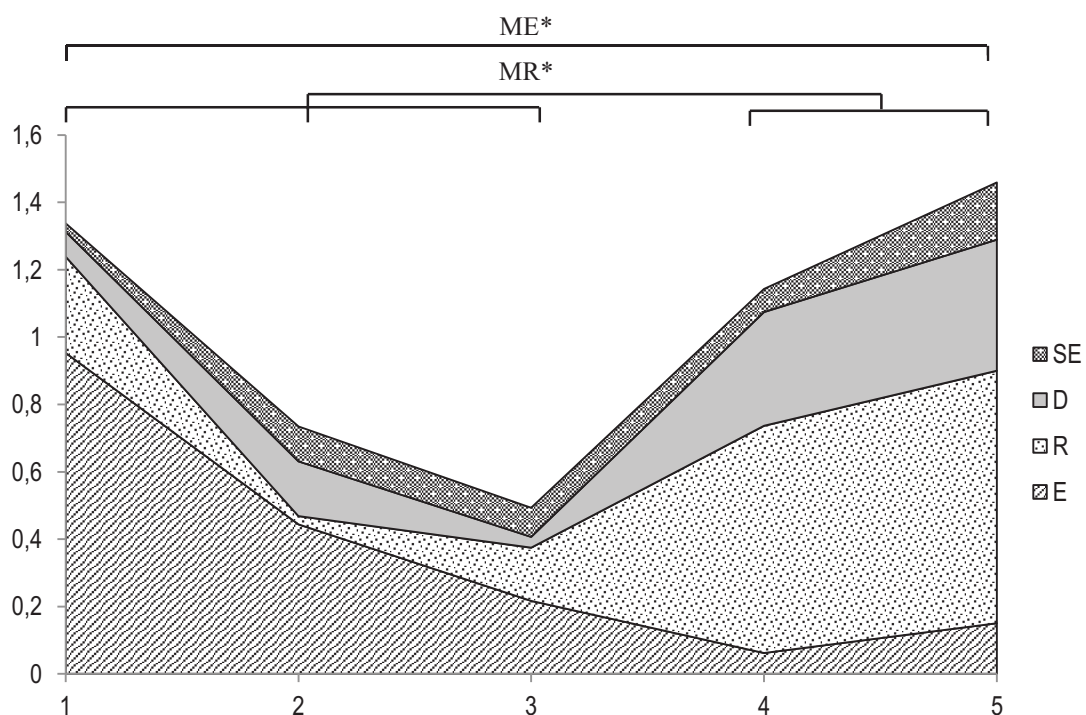
Comme pour la variabilité, la prédictibilité de la ST étendue spatiale est inverse aux patrons des autres ST. Pour la dernière condition une chute de la prédictibilité pour le coach comparée à la condition précédente (effet global $F(1,18)=7$). La prédictibilité des novices s'améliore entre la condition 1 et 2 (effet global $F(1,18)=3.1$).

4.3.2 ESPACE DES EXPRESSIVITES

La figure 28 affiche les différences des 4 expressivités entre les populations au cours des conditions. L'analyse multivariée ANOVA à mesures répétées est significative pour le facteur condition $F(4,18)=2.88$. Au niveau univarié, un effet sur l'énergie $F(1,18)=9.38$ et un sur la rigidité $F(1,18)=15.97$ ont été observés. L'analyse entre les conditions après ajustement avec la méthode de Bonferonni montre une baisse significative pour l'énergie entre la première et la cinquième condition et une augmentation pour la rigidité entre les conditions une, deux et trois et les conditions quatre et cinq.

FIGURE 28 : LES DIFFERENCES ENTRE LES POPULATIONS DES MOYENNES DES EXPRESSIVITES.

Note: * $p<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$.



Cette précédente analyse n'informe pas sur le déplacement dans l'espace des expressivités au niveau des groupes. Pour représenter graphiquement l'évolution des groupes dans l'espace des expressivités en fonction des conditions, les axes - moyennes des trois expressivités les plus pertinentes (c.-à-d. énergie, rigidité et étendue spatiale) ont été utilisées. L'intérêt est d'observer comment, en fonction de la condition suivante, les moyennes évoluent. La représentation spatiale entre les deux populations est affichée sur la figure 29.

La 1^{re} condition est marquée par une importante différence d'énergie et signe la distance la plus importante observée entre les populations parmi les cinq conditions. La 2nd condition voit les groupes se rapprocher l'un de l'autre (l'énergie baisse pour les coaches et augmente pour les novices) ; ce qui a pour effet de réduire la distance de moitié. Dans la 3^{ème} condition, les novices restent toujours proches de leur espace initial tandis que les coaches ne cessent de se rapprocher de l'espace des novices en faisant baisser l'énergie dépensée. C'est dans cette condition que les deux groupes apparaissent les plus proches. Lors de la 4^{ème} condition, l'importante baisse de

rigidité des coachs les fait s'éloigner des novices bien que ceux-ci se soient éloignés pour la première fois de leur espace préférentiel, se rapprochant de celui des coachs dans la condition précédente. Enfin, dans la dernière condition, les coachs augmentent considérablement leur étendue dans l'espace tout en diminuant fortement leur rigidité. Les novices retournent dans leur espace préférentiel exploré pendant les premières conditions en augmentant toutefois un peu leur étendue dans l'espace. Finalement, les coachs ont démontré leur plus grande capacité à moduler les paramètres E, SE, et R du mouvement afin de s'adapter au manque de flexibilité des mêmes paramètres chez les novices, qui seront eux, restés relativement proches du même espace des expressivités.

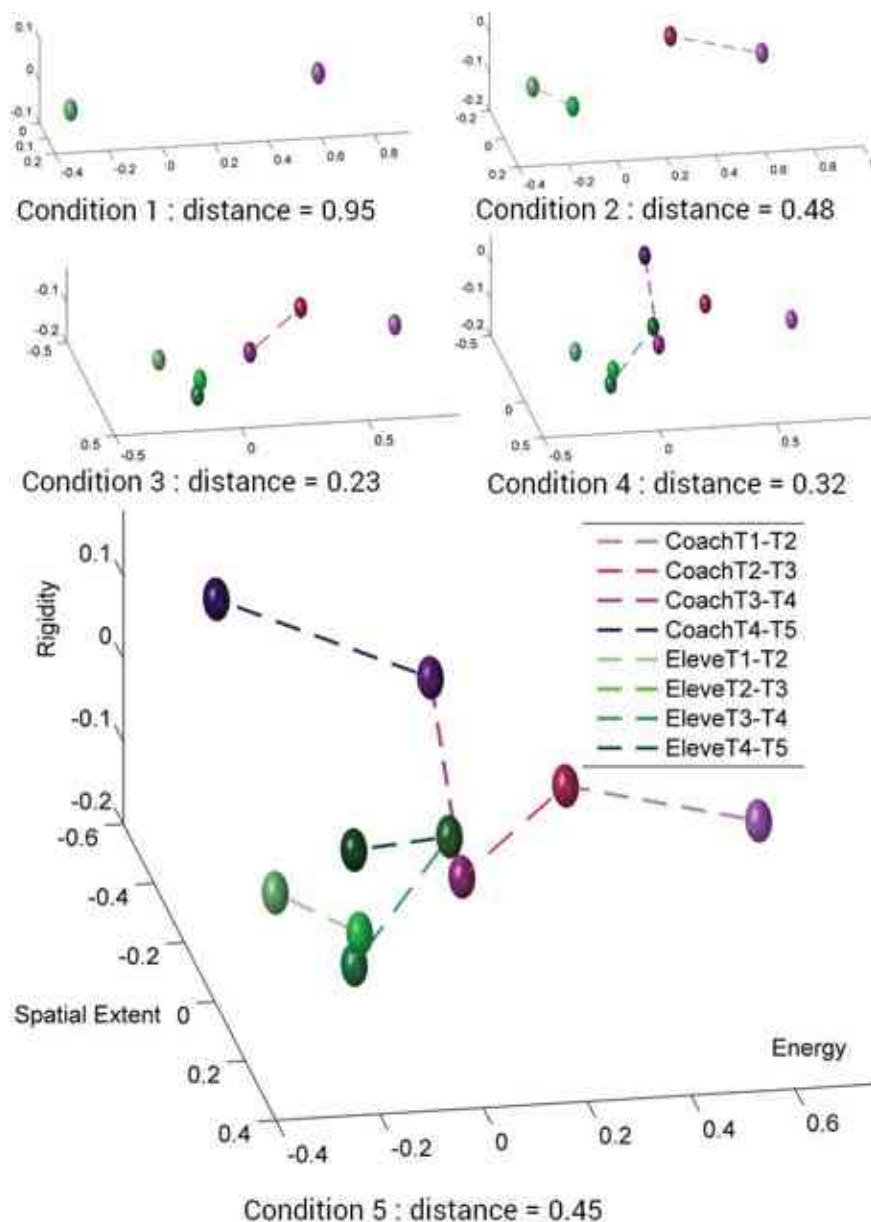


FIGURE 29 : LES POPULATIONS COACH ET ELEVES DANS L'ESPACE DES EXPRESSIVITES EN 3D ET DISTANCE ENTRE LES GROUPES.

4.4 DISCUSSION

Dans cette seconde étude, l'objectif était de déterminer les différences dans l'expressivité du mouvement émergeant spontanément en fonction : - du statut donné pour les participants - du schéma de l'interaction (c.-à-d. seul, face à face, dos à dos) - du cadre de passation (meneur-suiveur, coaction) qui était mis en place. La même chorégraphie que dans la première expérience était reproduite par des participants issus de deux groupes différents (c.-à-d. les experts du mouvement, et les non-experts) suivant différentes conditions.

À notre connaissance, aucune étude n'a analysé l'effet du changement de statut et du contexte social sur les mouvements de l'ensemble du corps de chacun des participants engagés lors d'une interaction dyadique. Ce qui rend cette étude difficile à comparer avec la littérature en prenant les mêmes bases.

Le niveau d'expertise signe les différences dans le mouvement (Schorer et coll. 2007). Ainsi, dès la première condition des différences entre le groupe d'experts du mouvement et les non-experts étaient attendues. La présence sociale impacte la performance dans une tâche de coaction (Oviatt, 2005), des améliorations dans le mouvement chez le novice étaient possibles lors des conditions où les participants étaient deux dans la pièce. Le statut comme d'autres caractéristiques sociales des humains lors d'interaction peut être communiqué par les mouvements (Brothers, 1997 ; Richmond et coll. 2011 ; Vinciarelli et coll. 2009). Au début de la troisième condition, le statut de chacun des groupes était annoncé, l'hypothèse était que cette annonce modulerait les variables d'expressivité corporelle chez les deux groupes, en particulier, chez les coachs. Les contributions des recherches sur les actions jointes et contexte de passation (meneur suiveur), dans l'impact sur la performance motrice des co-actants sont intéressantes (Noy et coll. 2011 ; Hart et coll. 2014). Entre les conditions quatre et cinq une évolution des patrons d'expressivités suivant les populations était envisagée. Enfin, la réduction de la variabilité et l'augmentation de la prédictibilité du mouvement sembleraient constituer des prérequis nécessaires afin de faciliter les interactions (condition 4) et l'apprentissage (condition 5). L'hypothèse que ces phénomènes seraient visibles dans les mouvements des coachs lors des dernières conditions était posée.

La première condition fait émerger deux expressivités bien caractéristiques des différentes populations. Les experts du mouvement apparaissent bien plus énergiques et présentent une forte variabilité dans le caractère direct et une faible prédictibilité pour le caractère direct et l'énergie signe à la fois d'un contrôle et d'une palette de mouvements plus importante et maîtrisée. Ce qui est en accord avec la variabilité fonctionnelle active des experts du mouvement mise en évidence par (Schorer et coll. 2007).

L'impact de la présence entre la première et la seconde condition a été analysé. Les deux seuls changements notables sont une baisse d'énergie chez les mouvements des experts et des mouvements étendus plus prédictibles chez les non-experts. Les changements des non-experts comme une façon d'être plus constant dans leurs mouvements et donc de réaliser la chorégraphie au mieux était une interprétation possible. Cette interprétation rejoint la théorie de la facilitation sociale (Oviatt, 2005).

L'impact du statut est étudié en comparant la seconde et la troisième condition. Un fort rapprochement dans l'espace des expressivités se produit entre ces conditions, notamment attribuable à la distance parcourue par les

coachs (expert du mouvement), ce qui est signe d'une adaptation des paramètres d'expressivité corporelle. Cependant, l'analyse univariée n'affiche aucun résultat significatif. Les novices (non-experts) sont restés dans leur zone de confort et semble ne pas être impactés par l'annonce du statut.

Les populations se retrouvent face à face lors de la condition quatre. Deux changements intéressants sont à noter. Le premier est une augmentation importante de la rigidité chez les novices. Cette perturbation est potentiellement engendrée par le feedback visuel du coach en miroir (Chaminade, 2005). Les coachs affichent quant à eux des mouvements très indirects, peut-être une adaptation pour être au mieux synchronisés avec les mouvements des novices. Les coachs ne réduisent pas l'énergie des mouvements comme dans les autres conditions, ce qui a mouvement identique les ferait terminer plus tôt. Ils préfèrent peut-être exécuter des mouvements moins directs pour augmenter la longueur de la trajectoire tout en gardant (invariants) les paramètres cinématiques de vitesse et d'expansion signes d'une bonne qualité des mouvements. Ceci est en partie confirmé par le déplacement d'expressivité lors de la condition quatre où les novices rejoignent l'expressivité que les coachs affichent s'ils ne diminuent pas leur rigidité.

Dans la dernière condition, les coachs étaient les exemples moteurs à suivre par les novices. C'est la condition où, il y a le plus de déplacements dans l'expressivité des populations. Les coachs baissent leur vitesse d'exécution des mouvements ce qui se traduit par une énergie plus faible. En parallèle, ils font baisser drastiquement leur rigidité et augmentent considérablement leur étendue dans l'espace ; signe de mouvements plus lents, plus amples et plus doux pour favoriser l'apprentissage. La baisse importante de la variabilité et l'augmentation de la prédictibilité des ST énergie et caractère direct correspond également dans la littérature à favoriser l'interaction et l'apprentissage (Vesper et coll. 2011) et permettrait également de favoriser la synchronisation dans la dyade. Ces changements auraient ainsi pour but de créer un rapport entre les individus, promouvant par la même une coopération (Delaherche et coll. 2012). Le seul changement significatif pour les novices est une augmentation de la prédictibilité du caractère direct. Pour les coachs, le phénomène inverse se produit pour l'étendue spatiale qui est la seule expressivité qui varie subitement ce qui n'a peut-être pas permis au coach de la réguler en contrôlant la variabilité et la prédictibilité lors de cette dernière condition.

Il serait très intéressant pour poursuivre les analyses de calculer les paramètres de la synchronie en fonction des différentes séries temporelles pour voir comment chacune évolue entre les conditions. Cela donnerait une information supplémentaire sur les stratégies des populations dans la régulation de l'interaction.

4.5 SYNTHÈSE

- Deux types de populations ont pris part à ce protocole. La capture corps entier a rarement été étudiée dans le cadre d'interaction dyadique.
- Différentes conditions d'interaction, de statut et de contexte ont induit des variations dans la réponse motrice des participants.
- S'il a été montré que les populations avaient des caractéristiques motrices préférentielles, celles-ci ont évolué lors des conditions. C'est particulièrement le cas des experts du mouvement qui jouent sur l'amplitude des variations et de la prédictibilité.
- Les novices ont été plus impactés par le feedback visuel du coach en miroir que par les phénomènes de facilitation sociale.
- La condition d'apprentissage montre un déplacement intéressant de l'expressivité des coaches (baisse de l'énergie et de la rigidité, augmentation de l'étendue dans l'espace), ainsi qu'une augmentation de la prédictibilité.
- Pour parfaire l'analyse, il serait intéressant d'investiguer la synchronie sur les différentes ST. Cette mesure permettrait d'en savoir plus sur les stratégies de régulation lors de l'interaction.

L'importance du statut et du contexte d'interaction sur l'impact expressif du mouvement a été mis en exergue. Dans l'étude en IHM qui suit, cette expressivité est contrôlée au moyen d'un personnage virtuel ; la taille et le genre est également examinés comme médiateurs des interactions

CHAPITRE V :

L'EXPRESSIVITE DU MOUVEMENT: VARIABILITE INTRA-INDIVIDUELLE LORS DE L'INTERACTION DYADIQUE COACH-ELEVE EN INTERACTION HOMME-MACHINE.

5.1 Introduction	84
5.1.1 Objectifs	84
5.1.2 Hypothèses	84
5.2 Méthode	85
5.2.1 La création des avatars, l'exemple du genre	86
5.2.2 Expressivité	89
5.2.4 Taille	89
5.2.5 Questionnaire	90
5.3 Résultats	91
5.3.1 Corrélation entre les items du questionnaire	91
5.3.2 L'impact du genre en fonction des populations	92
5.3.3 L'impact de la taille du coach virtuel sur le ressenti et la réponse motrice	92
5.3.4 L'impact de l'expressivité du coach virtuel sur le ressenti et la réponse motrice	93
5.3.5 prédiction de la dépense d'énergie des participants	94
5.4 Discussion	95
5.5 Synthèse	98

5.1 INTRODUCTION

Pour cette dernière étude, un programme gérant des coachs virtuels a été conçu dans le but d'étudier l'impact de l'expressivité, de la taille et du sexe d'un personnage virtuel sur la perception de l'interaction et la réponse motrice des utilisateurs dans un cadre d'IHM.

Les études précédentes ont implémenté l'expressivité chez les personnages virtuels pour communiquer de l'émotion, de la compétence ou une personnalité afin d'améliorer de l'interaction. Les études sur les coachs virtuels ont montré des faiblesses dans ce type de personnalisation. Pourtant le plaisir, et la dépense d'énergie sont directement liés aux paramètres pro sociaux des coachs virtuels (cf. 2.3.4).

Après avoir implémenté différentes expressivités, les conditions ont été randomisées pour évaluer subjectivement le ressenti des participants avec des questionnaires (c.-à-d. valence, dominance, arousal, interaction et motivation). La réponse motrice des participants a également été évaluée par le calcul (expressivité, comme dans les précédentes études).

5.1.1 OBJECTIFS

Cette étude présente quatre objectifs :

1. Mettre en relation l'expressivité et les indices du jugement du coach (Affects, interaction, motivation).
2. Montrer que le sexe de l'avatar impacte les versants perceptif et moteur dans l'interaction.
3. Mettre en évidence que la taille de l'avatar influe sur la réponse motrice des participants.
4. Lier l'énergie dépensée avec les paramètres sociaux transmis par le coach virtuel.

5.1.2 HYPOTHESES

H1 : un style positif (expressivité du mouvement) impacte la perception de la motivation, la valence et l'interaction. Cet effet a une influence sur la dépense d'énergie et déplacera par la même l'expressivité des participants.

H2 : la taille du coach virtuel influence la dominance perçue ainsi que l'expressivité des participants : une personne préférera interagir avec un personnage virtuel de sa taille. Un petit coach sera possiblement dévalorisé, un coach grand engendrera un sentiment de dominance importe.

H3 : Le sexe du personnage virtuel jouera sur la préférence des participants et sur l'aspect motivationnel ; ce facteur devrait médier l'expressivité affichée par les participants. Le caractère virtuel de l'application devrait l'affecter très subtilement.

5.2 METHODE

Participant

Vingt-six participants âgés de 21 à 32 ans (13 femmes; Mage = 27.3, SD = 2.1) ont pris part à l'étude après avoir donné leur accord par écrit et avoir été informés de la procédure expérimentale comme il est requis par la déclaration d'Helsinki et le comité local d'éthique EA 4532.

Tâche

Une vidéo de la chorégraphie a été envoyée aux participants une semaine avant la passation expérimentale. Il était demandé aux participants de regarder la vidéo et d'apprendre la chorégraphie de fitness dans le but de pouvoir la reproduire le jour de l'expérimentation. L'expérience a été conçue avec une conception expérimentale à mesures répétées pour évaluer le changement dans les caractéristiques du mouvement à un niveau intra-individuel (figure 30). Pour plus de détails sur la chorégraphie se reporter au paragraphe « Tâche » du chapitre III.



FIGURE 30 : UNE PARTICIPANTE DEVANT L'ECRAN OU LE COACH ETAIT AFFICHE, REPRODUISANT LA CHOREGRAPHIE.

Procédure

Les participants étaient rémunérés 8 € pour leur participation. Les mouvements des participants étaient collectés en utilisant un système de capture du mouvement optoélectronique corps entier. Le système était équipé de dix-huit caméras infrarouges (système FLEX 3 Optitrack, fréquence: 100 Hz, résolution: 640*480).

Dès leur arrivée, le formulaire de consentement ainsi qu'une description partielle de nos buts de recherche (c.-à-d. créer un coach virtuel) ainsi qu'une description de la tâche à accomplir (c.-à-d. répéter la chorégraphie précédemment apprise 2 fois) étaient donnés aux participants.

Un écran 75 pouces était positionné dans la salle de capture du mouvement. Une croix était disposée à 2.5 mètres de l'écran. Dix conditions d'interaction avec un personnage virtuel ont été conçues (voir la partie création de stimuli). Il était demandé aux participants de suivre au mieux les mouvements du coach virtuel (ces mouvements étaient ceux de la chorégraphie apprise par les participants, mais en miroir). Le coach du même sexe que le participant était programmé pour répéter la chorégraphie 2 fois puis pour revenir en état d'attente. L'attente était une cinématique jouée en boucle. À la suite des deux chorégraphies le participant devait répondre à un questionnaire électronique (voir ci-dessous la partie création des stimuli). Le participant retournait ensuite sur la croix - le programme jouait une nouvelle condition. Ces conditions étaient distribuées aléatoirement.

Création des stimuli

La figure 32 donne le plan et la description des conditions et les impressions écran à des images identiques qu'un participant de sexe féminin rencontrait durant l'expérience. Les images pour les conditions expressivités sont les mêmes (c.-à-d. image 3500 de la partie mouvement). Les images pour les conditions taille et genre sont les mêmes (c.-à-d. respectivement image 1 et 150 de la partie attente).

5.2.1 LA CREATION DES AVATARS, L'EXEMPLE DU GENRE

La création du « mesh » (maillage) (1), le « rigging » (création du squelette) (2), « skinning » (mise en relation du maillage et du squelette) (3) et le « texturing » (application des textures) (4) des personnages virtuels ont été effectués avec le logiciel Blender 2.73 (figure 31).

Ces deux avatars complets (c.-à-d. un homme et une femme) ont servi de base pour l'expérience. Des séquences de mouvements différentes issues de mouvements enregistrés lors de la première expérience (cf. chapitre 3) ont ensuite été implémentées.



FIGURE 31 : LES ETAPES DE CREATION DU PERSONNAGE VIRTUEL MASCULIN SOUS BLENDER 2.73.

Expressivités

Stimulus 2



Expressivité
G négatif
E= -0.6
R=0.67
D=1.39
SE=-0.44

Taille
Participant

Genre
Participant

Stimulus 1



Expressivité :
G normal
E= -1
R=-1.73
D=0
SE=-1.33

Taille
Participant

Genre
Participant

Stimulus 3



Expressivité
G positif
E= 1.03
R=0.1
D=-0.4
SE=1.17

Taille
Participant

Genre
Participant

Taille

Stimulus 4



Expressivité :
G normal
E= -1
R=-1.73
D=0
SE=-1.33

Taille
Participant -20cm

Genre
Participant

Stimulus 1



Expressivité
G normal
E= -1
R=-1.73
D=0
SE=-1.33

Taille
Participant

Genre
Participant

Stimulus 5



Expressivité
G normal
E= -1
R=-1.73
D=0
SE=-1.33

Taille
Participant +20cm

Genre
Participant

Genre

Stimulus 1



Expressivité
G normal
E= -1
R=-1.73
D=0
SE=-1.33

Taille
Participant

Genre
Participant

Stimulus 6



Expressivité
G normal
E= -1
R=-1.73
D=0
SE=-1.33

Taille
Participant

Genre
Opposé participant

FIGURE 32 : LES 10 STIMULI DE L'EXPERIENCE.

5.2.2 EXPRESSIVITE

Trois séquences de mouvements dits « biologiques » (G négatif G normal et G positif) sont issues de trois participants de l'expérience. Ces séquences de mouvements ont été sélectionnées en fonction des résultats d'une expérience perceptive (non cité dans ce travail – voir thèse Giraud 2015).

Une séquence de mouvements qui avait été perçue comme globalement (Effet Halo) très négative (G négatif) sur plusieurs échelles (Valence, motivation, expressivité du mouvement), une séquence neutre (G normal) et une séquence globalement perçue très positive (G positif) ont été sélectionnées. Les indices expressifs (E, R, D et SE) de ces séquences de mouvements ont été calculés.

(Cf. Giraud, 2015) pour plus de détails sur l'expérience perceptive, les échelles et les résultats.

5.2.4 TAILLE

Une pré-expérience a été réalisée où il était demandé à 10 participants de régler avec un clavier d'ordinateur la taille des avatars féminins et des avatars masculins qui étaient présentés sur l'écran 75 pouces à la distance de 2.5 mètres dans 3 conditions :

- 20 cm de moins que leur taille (celle du participant)
- Leur taille
- 20 cm de plus que leur taille.

Au moyen de ces données, des régressions linéaires $y=f(x)$ de la taille perçue de l'avatar en fonction de la taille des participants ont été calculées. Ceci a permis pour l'expérience de régler les avatars en fonction de la taille des participants et donc de normaliser les stimuli.

Ci-dessous trois exemples (figure 33) de régression linéaire pour l'avatar féminin avec les trois tailles (en abscisse la taille des participants ; en ordonné une valeur de ratio pour régler la taille des avatars dans l'application). La variance expliquée est d'environ 70% dans ces cas, ce qui a permis de régler correctement les tailles d'avatar en fonction de celle des participants lors des passations.

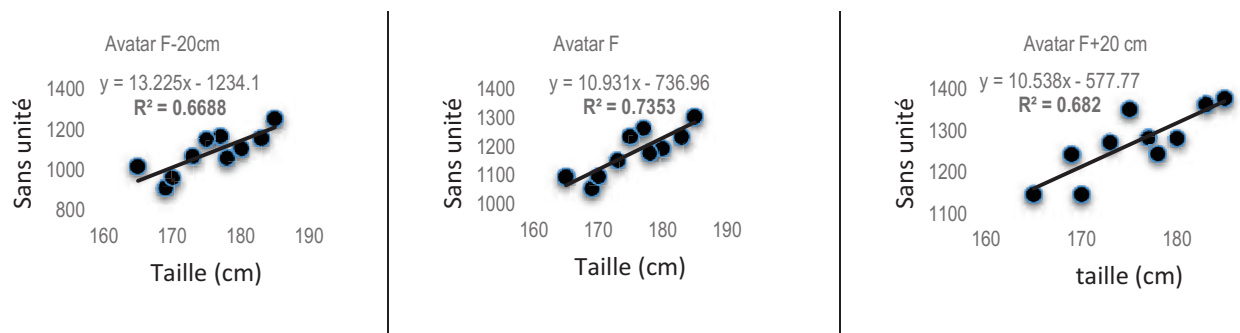


FIGURE 3 : RELATION LINEAIRE DE LA TAILLE DES AVATARS POUR LES CONDITIONS FEMMES -20 CM, FEMME TAILLE REELLE ET FEMME +20CM EN FONCTION DE LA TAILLE DES PARTICIPANTS.

5.2.5 QUESTIONNAIRE

Le questionnaire était composé de 8 items– échelles EVA. Six items demandaient aux participants leur ressenti perceptif sur les coaches (Valence, Arousal, Dominance, Réalisme du mouvement, Réalisme de forme et Motivation perçue) et deux items les questionnaient directement sur leur ressenti (Interaction et Motivation). Les trois premières questions correspondaient aux trois dimensions du SAM et étaient adaptées pour le besoin de l'expérience en échelle visuelle analogique (EVA). Les autres items étaient des questions créées pour les besoins de l'expérience. L'échelle EVA donnait un nombre entre 0 et 1000 lors des réponses des participants.

Données exportées

Se reporter à la section Données Exportées du chapitre III.

Calcul de la variabilité intra-individuelle

Se reporter à la section Calcul de la variabilité intra-individuelle du chapitre III.

Statistiques

Après avoir vérifié dans quelle mesure les réponses des items du questionnaire d'évaluation corrèlent entre elles, les comparaisons appariées- les tests post-hoc avec ajustement de Bonferroni du test statistique ANOVA à mesures répétées sont exploitées pour mettre en évidence les différences entre les 6 conditions. Ceci

permet de voir comment les coachs virtuels de genre, tailles et d'expressivités variées sont jugés perceptivement et impactent la réponse motrice des participants. Il est à noter que les populations (hommes et femmes) sont séparées pour tester l'impact du genre.

Prédire la dépense d'énergie des participants est l'un des objectifs. Tous les participants ne sont pas réceptifs et ne réagissent pas de la même façon. Les réponses motrices en fonction des conditions devraient être corrélées. Ainsi l'effet aléatoire est intégré au niveau des participants pour prendre en compte les différences interindividuelles. Deux modèles de type GLMM sont construits. Le premier prédit la dépense d'énergie en fonction des réponses aux questionnaires. Après avoir identifié que la Motivation du Coach (MC) est le paramètre lié à la dépense d'énergie, un second modèle prédisant MC en fonction des expressivités des coachs est construit.

5.3 RESULTATS

Toutes les variables de l'expérience trois ont été transformées en Zscore et mises en positif.

5.3.1 CORRELATION ENTRE LES ITEMS DU QUESTIONNAIRE

Ci-dessous (tableau 15) les corrélations positives entre les items du questionnaire. Une importante corrélation entre les réponses au questionnaire (SAM) est observée. La valence, l'arousal et la dominance corrélient entre eux à plus de ($<.56$). Il existe également une bonne corrélation entre le réalisme de forme et de mouvement ($.61$). Le jugement de l'interaction est corrélé principalement par la valence du coach et le réalisme du mouvement du coach ($<.44$). La motivation perçue du coach est fortement liée avec l'interaction ($.77$) et un peu moins avec la valence. Avec des R inférieurs à ($.4$), la motivation des participants semble plus difficile à appréhender, de faibles relations la lient avec le jugement de l'interaction ($.36$) et la motivation du coach ($.31$).

TABEAU 15: CORRELATIONS ENTRE LES ITEMS DU QUESTIONNAIRE.

Note: * $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < .001$.

Features	A	D	RF	RM	I	CM	Motivation participant (M)
Valence (Val)	.601**	.725**	.190*	.233**	.426**	.505**	
Arousal (Arou)		.569**			.207**	.343**	
Dominance (Dom)			.205*	.276**	.325**	.429**	
Réalisme de forme (FR)				.611**	.297**	.276**	.193*
Réalisme de mouvement (MR)					.440**	.375**	.286**
Interaction (I)						.775**	.363**
Coach Motivation (CM)							.312**

5.3.2 L'IMPACT DU GENRE EN FONCTION DES POPULATIONS

La condition 6 (genre différent) affichait un personnage virtuel avec un genre opposé à celui du participant(e). Ce coach partageait la taille du participant et la même expressivité que la condition 1 (c.-à.d., genre identique – condition contrôle).

Les figures 33.a and 33.b montrent les différences de réponses motrices (objectives) et réponses subjectives (questionnaire) en fonction du type de population. En dépit de différences visibles graphiquement, l'analyse ne révèle aucuns écarts significatifs chez les participants (figure 33.a). Au contraire, les participantes affichent des différences significatives mais uniquement dans les ressentis. (figure 33.b). La condition 6 était perçue plus positive dans la valence $F(1,12)=3.8$. Néanmoins, les mouvements et la forme étaient perçus moins réalistes, respectivement $F(1,12)=3.9$ et $F(1,12)=9.2$.

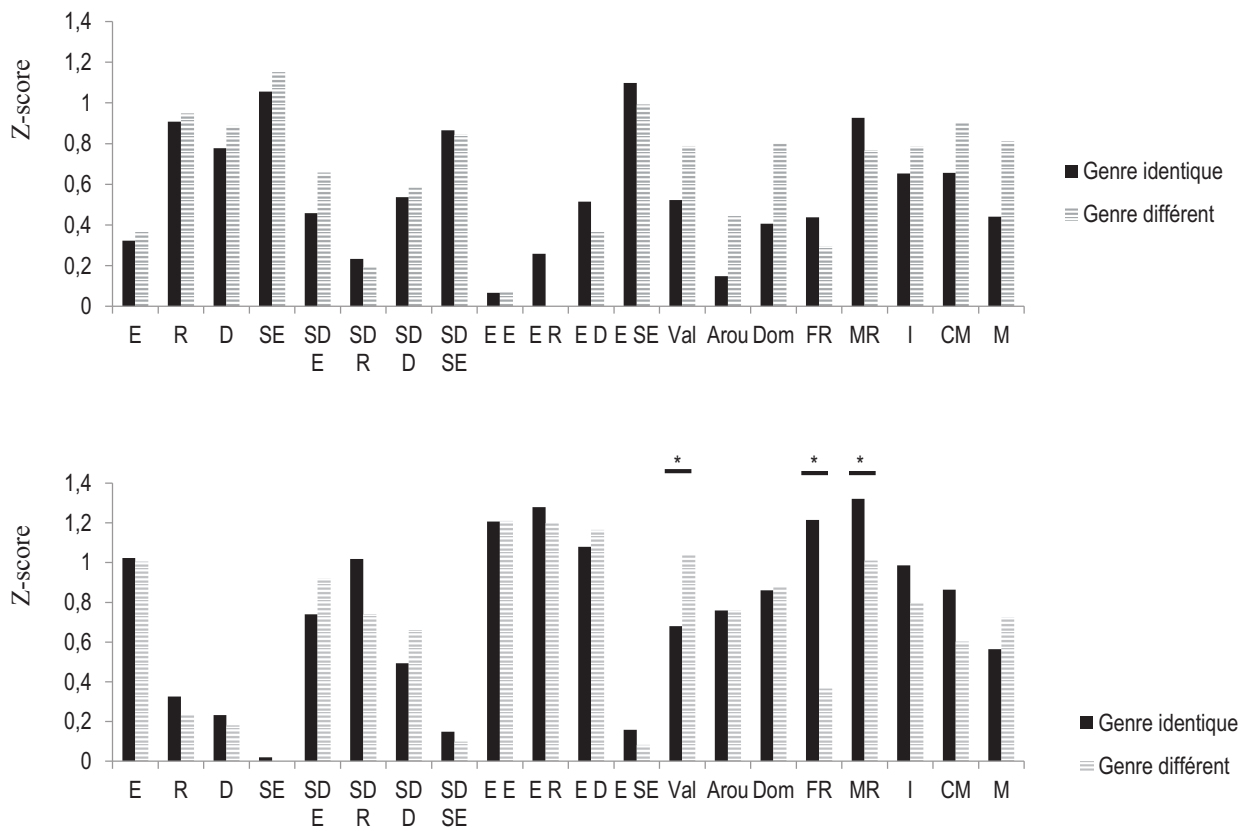


FIGURE 33.A ET 33.B: EVOLUTION DU RESSENTI ET DE LA REPONSE MOTRICE EN FONCTION DU GENRE DU COACH VIRTUEL POUR LES HOMMES (HAUT) ET LES FEMMES (BAS).

Note: * $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < .001$.

5.3.3 L'IMPACT DE LA TAILLE DU COACH VIRTUEL SUR LE RESSENTI ET LA REPONSE MOTRICE

Les conditions 4 et 5 affichaient respectivement un coach virtuel avec une taille de 20 cm de moins et de 20 cm de plus que le coach virtuel de la condition 1 (taille du coach virtuel perçue à la taille du participant). Les

deux populations sont incluses dans la même analyse. (figure 34). L'ANOVA à mesures répétées avec ajustement de Bongeronni a été utilisée pour comparer les conditions. L'effet global était mis en évidence pour D $F(2,25)=7.24$, FR $F(2,25)=3.4$, I $F(2,25)=3.9$ et M $F(2,25)=3.8$.

L'analyse de l'influence de la condition 5 par rapport à la condition 4 montre des résultats significatifs sur I (augmentation de la qualité de l'interaction). La condition 4 était caractérisée par une diminution de FR comparée à la condition contrôle (1). D était significativement plus important pour la condition 5 que pour la condition 1.

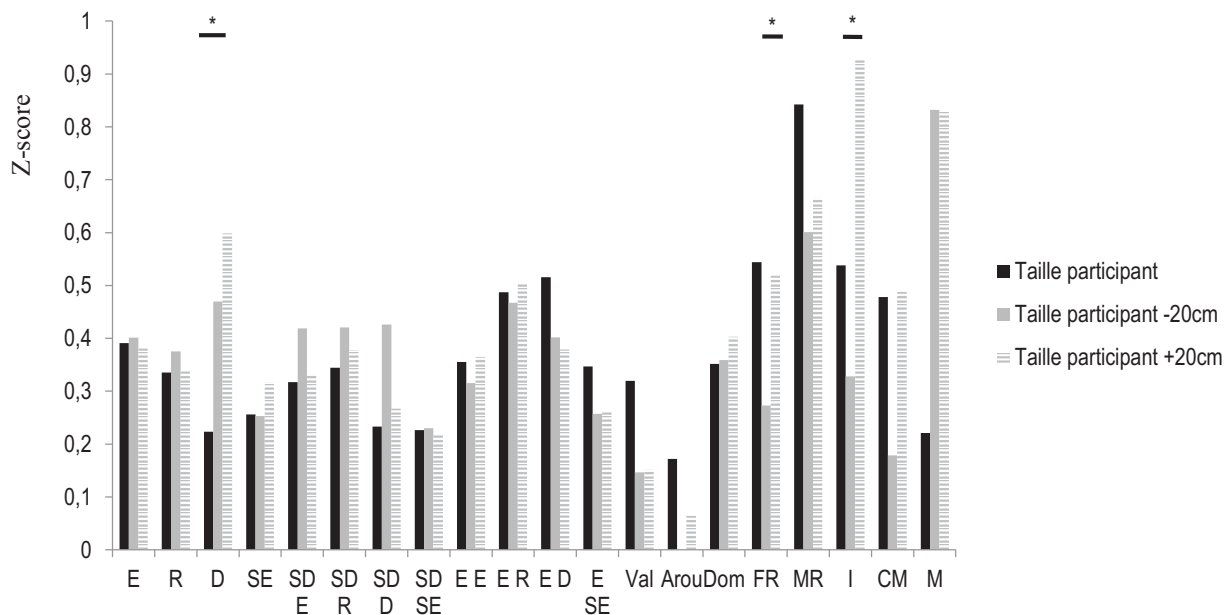


FIGURE 34 : EVOLUTION DU RESSENTI ET DE LA REPOSE MOTRICE EN FONCTION DE LA TAILLE DU COACH VIRTUEL.

Note: * $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < .001$.

5.3.4 L'IMPACT DE L'EXPRESSIVITE DU COACH VIRTUEL SUR LE RESSENTI ET LA REPOSE MOTRICE

Les conditions 1 (G), 2 (G-) et 3 (G+) affichaient respectivement un coach avec une expressivité neutre, négative et positive. Les deux populations sont incluses dans la même analyse. (figure 35). L'ANOVA à mesures répétées avec ajustement de Bongeronni a été utilisée pour comparer les conditions. L'effet global a été mis en évidence pour D $F(2,25)=4.64$, SE $F(2,25)=14.8$, SDSE $F(2,25)=5.4$, ESE $F(2,25)=5.8$, Val $F(2,25)=4.1$, Arou $F(2,25)=14.1$, Dom $F(2,25)=4.4$, MR $F(2,25)=4.2$, I $F(2,25)=3.9$ et CM $F(2,25)=4.6$. Les mouvements étaient plus directs dans la condition 2 (G-) comparés aux conditions 1 (G) et 3 (G+). Les mouvements étaient plus étendus dans la condition 3 comparés aux conditions 1 et 2. Dans la condition 2 la variabilité et l'entropie diminuaient (mouvement moins variables et plus prédictibles) comparées aux conditions 1 et 2. Une augmentation de Val,

Arou, Dom, I and CM a été mise en évidence entre les conditions 2 et 3 et une diminution de MR, I et CM entre les conditions 1 et 2.

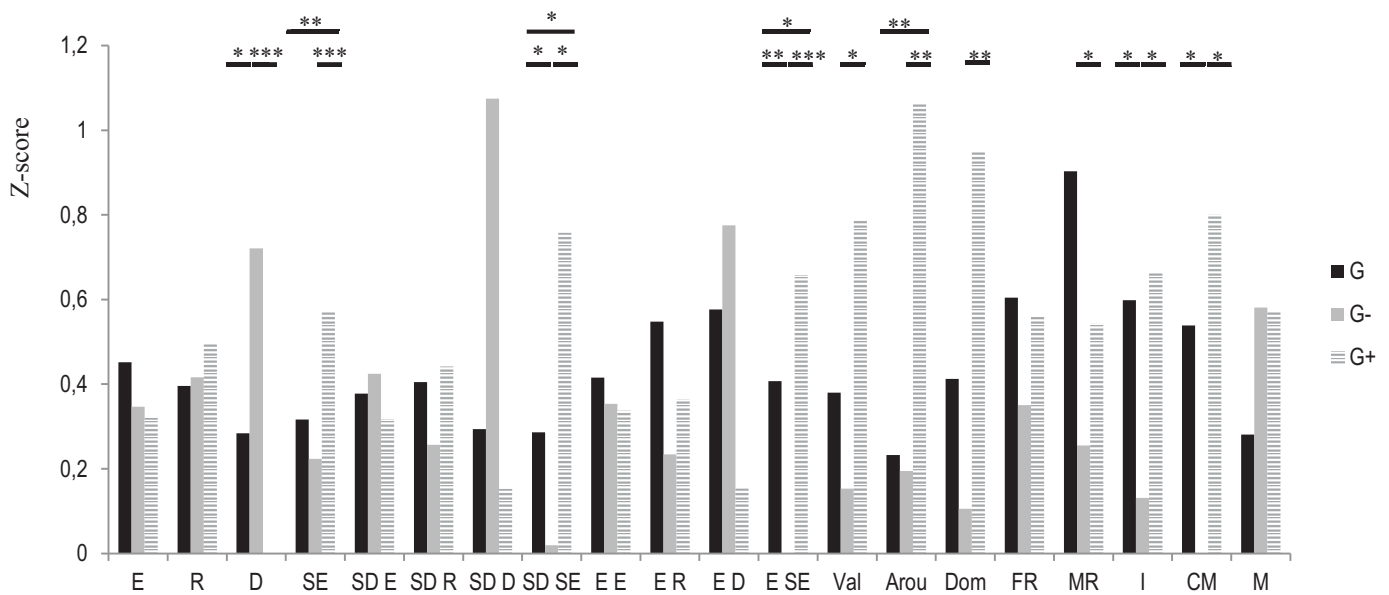


FIGURE 35 : EVOLUTION DU RESENTI ET DE LA REPONSE MOTRICE EN FONCTION DE L'EXPRESSIVITE DU COACH VIRTUEL.

Note: * $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < .001$.

5.3.5 PREDICTION DE LA DEPENSE D'ENERGIE DES PARTICIPANTS

Dans cette partie, un modèle de prédiction de l'énergie dépensée par les participants au moyen des variables perceptives est créé. Après avoir mis en évidence que l'énergie est reliée à MC, cette variable perceptive est prédite au moyen des valeurs des expressivités des coaches.

Le tableau 16 résume (c.-à-d., F, significativité (P), et « 2log pseudo likelihood information » (-2LPL)) les résultats obtenus par les modèles prédictifs.

Le tableau 17 affiche les valeurs des coefficients des effets fixes (variables prédictives) ainsi que la variance des résidus (variance inexpliquée) et de l'effet aléatoire intercepts (variance de la variabilité interindividuelle).

TABEAU 16: RESUMES DES MODELES GLMM

Note: * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Information sur les modèles				
Modèle numéro	Prédiction	F	P	-2LPL
1	ME	F(1,232)=4.73	***	356
2	MC	F(2,231)=4.71	**	667

TABLEAU 17: ESTIMATIONS DES EFFETS FIXES ET ESTIMATION DE LA VARIANCE-COVARIANCE POUR LES DIFFERENTS

Note: * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Modèle n°		
	1	2
	ME	MC
Coefficients (signification)		
Effets fixes	Paramètres	
	MC	.221*
	ME coach	0.39**
	MR coach	-0.28*
Effets des résidus	Variance	.26***
Paramètre aléatoire	Variance	.77 ***
		0.07

Dans le modèle 1, un seul paramètre (MC) est utile pour prédire la dépense d'énergie des participants (relation positive). De plus la variance du paramètre aléatoire est plus importante que l'effet des résidus, ce qui suggère qu'une part importante de variabilité interindividuelle est présente dans ce modèle.

Dans le but de comprendre les liens existants entre MC et la signature motrice des coaches, une analyse prédictive de cette variable en fonction des expressivités des coaches est effectuée. Les moyennes des ST des séquences de mouvements implémentées dans l'application sont calculées (les valeurs sont reportées dans la figure 32). La prédiction de MC ressenti par les participants peut être expliquée dans un modèle à 2 paramètres. Des mouvements plus énergétiques et rigides des coaches virtuels impactent positivement la perception de MC. Néanmoins, une part importante de la variance reste inexpliquée.

5.4 DISCUSSION

Cette étude en IHM est la dernière de ce travail. Des personnages virtuels de genre, taille et d'expressivité du mouvement variés ont été utilisés. Les différences dans l'expressivité du mouvement des participants ont été analysées selon le même schéma que les précédentes études (c.-à-d. tâche, ST et tests statistiques semblables). Aucune étude n'a encore considéré l'impact de l'expressivité d'un coach virtuel sur la variabilité intra-individuelle du mouvement du corps entier des participants.

Les précédentes études sur les liens perceptifs entre expressivité et émotions (Wallbott, 1998 ; Meijer, 1989 ; Dahl et Friberg, 2007 ; Crane et Gross, 2013) dans le cadre d'IHM (Rajagopal, 2012 ; Hartmann et coll. 2005) ont montré que l'affect est perçu dans les variations du mouvement. Ainsi, afficher un coach avec une expressivité positive impacterait à la fois les mouvements des participants et leur perception : valence – motivation – qualité de l'interaction.

La taille des agents virtuels constituerait un modérateur social dans les IHM (Yee, 2006). L'hypothèse était faite qu'un changement de taille ferait varier la perception de la dominance et plus généralement le jugement subjectif du personnage virtuel et de l'interaction. Ceci conduirait à des variations d'expressivité chez les participants.

Les dyades sexuées mettent en évidence des patrons de comportements non verbaux différents en fonction du sexe des interactants (Bente et coll. 1998). Dominance et genre se chevauchent dans le cadre de conversations affectives. Les dyades mixtes affichent des différences de dominance entre hommes et femmes (Henley et Kramarae, 2001). Ainsi, un changement de sexe de l'avatar affecterait la perception et la motricité des participants malgré le caractère virtuel de l'application.

Dans le cadre de l'étude, la valence, l'arousal et la dominance sont des variables perceptives particulièrement liées entre elles qui covariantes positivement. Les participants ont porté un jugement global sur l'expressivité de chaque coach, ce qui se traduit par une covariance importante des items SAM du questionnaire. Ce phénomène (c.-à-d. l'effet Halo) a été démontré dans de précédentes études (Giraud, 2015). Le coach affichant une expressivité positive a été jugé avec un niveau de valence, d'arousal et de dominance élevés. Les analyses statistiques montrent que la perception de la valence est liée à des mouvements plus étendus qui donnent un caractère positif au coach, contrairement aux mouvements peu étendus dans l'espace. Cette relation correspond sans doute à une caractéristique des communications favorisant l'expressif et l'affectif.

Concernant la motivation du participant, l'effet Halo était très faible. Il apparaît néanmoins des liens et tendances positives avec : - les réalismes de forme/mouvement - l'interaction - la motivation du coach. Un parallèle est possible, dans le lien motivation du coach – motivation du participant, avec les phénomènes de contagion motivationnelle observés dans le cadre des apprentissages et de relations professeurs-élèves (Knapp et Hall, 2009).

Le coach avec la plus grande taille était préféré dans l'interaction et motivait plus les participants. La taille a déjà été indiquée comme modérateur de la perception de la compétence des personnes (Vinciarelli et coll. 2009). Les participants ont sans doute attribué un caractère plus professionnel au coach de grande taille, ce qui les a menés à produire des mouvements plus directs, signant une attention plus forte.

Les analyses de l'effet du genre ont été séparées. Chez les participantes comme chez les participants, l'avatar avec un genre différent était perçu comme plus motivant et plus positif. Néanmoins les deux populations leur ont attribué une moins bonne note dans le réalisme des mouvements et de forme. Hall (1990) a montré que des dyades femmes affichent des comportements plus amicaux pour obtenir une relation d'amitié identique qu'avec des dyades mixtes. Ceci explique que lors d'interaction avec l'avatar homme, les participantes tendaient à attribuer une valence plus importante à celui-ci. Si la forme des avatars étaient différentes, les mouvements étaient les mêmes pour les avatars de sexe différents. Les variations observées, notamment chez les participantes démontre de la complexité des interactions entre l'anthropomorphisme de mouvement et de forme (Chaminade et coll. 2007), le genre ajoutait ici, agissant comme un médiateur.

Finalement, la dépense d'énergie des participants est reliée à l'impression subjective d'un coach motivant. Néanmoins cette relation est faible et le phénomène est multifactoriel au vu de l'importante part de variabilité interindividuelle dans le modèle. L'analyse des corrélations entre les items du questionnaire semble montrer qu'un coach motivant et également celui qui offre de bonnes interactions et une valence perçue élevée. Ceci est en accord avec les résultats d'une précédente étude qui a mis en relation l'effet de coach virtuel émotionnellement démonstratif sur la motivation (Johson, 2000). L'analyse prédictive entre la motivation perçue du coach et ses

expressivités suggèrent que des mouvements expressifs énergétiques et rigides produits par les avatars sont également une source pertinente pour expliquer ce phénomène.

Pour de futures études, il serait intéressant de tester l'impact de la dynamique (synchronie) sur l'interaction et la motivation perçue. Notamment en faisant varier en temps réel la vitesse des mouvements des personnages virtuels, et donc en affichant différents « lags » (retards) de nouvelles personnalisations pourraient être rendues possibles.

Dans cette étude, le mouvement (neutre) était une séquence biologique d'une participante d'une expérience précédente. Ce mouvement a servi à animer les avatars dans les conditions de taille et de genre. On peut également se poser la question de l'impact perceptif qu'a pu avoir la congruence mouvement femme – avatar femme et la non congruence mouvement femme – avatar homme en fonction du sexe des participants, laissant en perspective de nouvelles études sur le corps entier et les relations entre l'anthropomorphisme de forme, de mouvement et le genre.

5.5 SYNTHÈSE

- Pour contrôler l'expressivité, la taille et le genre une expérience en IHM ou les mouvements d'un coach de fitness virtuel évoluaient en fonction des conditions a été créée.
- Les coaches sont évalués sur la valence, l'arousal et la dominance. L'étendue des mouvements chez les participants est un indice une bonne interaction perçue.
- L'effet du genre est important, surtout chez les participantes et notamment sur la valence et l'anthropomorphisme perçus.
- La taille joue un rôle de médiateur, le grand coach était mieux jugé dans l'interaction.
- La dépense d'énergie est moins liée à la motivation des participants, mais plus à la motivation perçue du coach. Des mouvements énergétiques et rigides de ceux-ci favorisent ce phénomène.
- Les possibilités de dyades sont nombreuses quand on s'intéresse à la congruence entre forme et mouvement sur la signature motrice corps entier. Cela nécessite de construire une autre étude.
- Dans le but d'augmenter l'interaction perçue, la synchronie de l'expressivité est une perspective future intéressante.

La partie suivante de ce travail replace les trois études dans leurs contextes, les compare et discute de leurs complémentarités ainsi que de leurs limitations.

CHAPITRE VI :

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

6.1 Résumé des contributions	100
6.2 Discussion et perspectives.....	103
6.2.1 Intérêts et limites de la tâche de fitness	103
6.2.2 Contraindre l'interaction dans un environnement de recherche, des protocoles peu écologiques	105
6.2.3 Cadre d'étude des expressivités	105
6.2.4 Évaluation des perceptions et des états dans un contexte sportif	106
6.2.5 L'approche statistique dans les études en science de l'humain	107
6.2.6 L'importance de la vitesse	107
6.3 Conclusion générale	108

6.1 RESUME DES CONTRIBUTIONS

Les trois expériences réalisées dans le cadre de ce travail doctoral ont porté sur la problématique de l'identification des signatures motrices et des facteurs responsables de la variabilité de celles-ci au niveau intra-individuel dans différents contextes affectifs (expérience I et III) et interactifs (expérience II et III). Les schémas suivants (figure 36 – 37 -38) résument les principaux résultats de ce cadre de travail : les expressivités du mouvement.

Ces résultats servent à la compréhension de l'impact de sources extérieures sur le mouvement humain, mais sont également importants pour la conception de futurs personnages virtuels dans des applications de types exergames, mais aussi dans d'autres contextes (p. ex. formateur virtuel, robotique sociale). L'objectif principal vise à personnaliser l'interaction en ajoutant une composante affective aux mouvements des avatars et des robots.

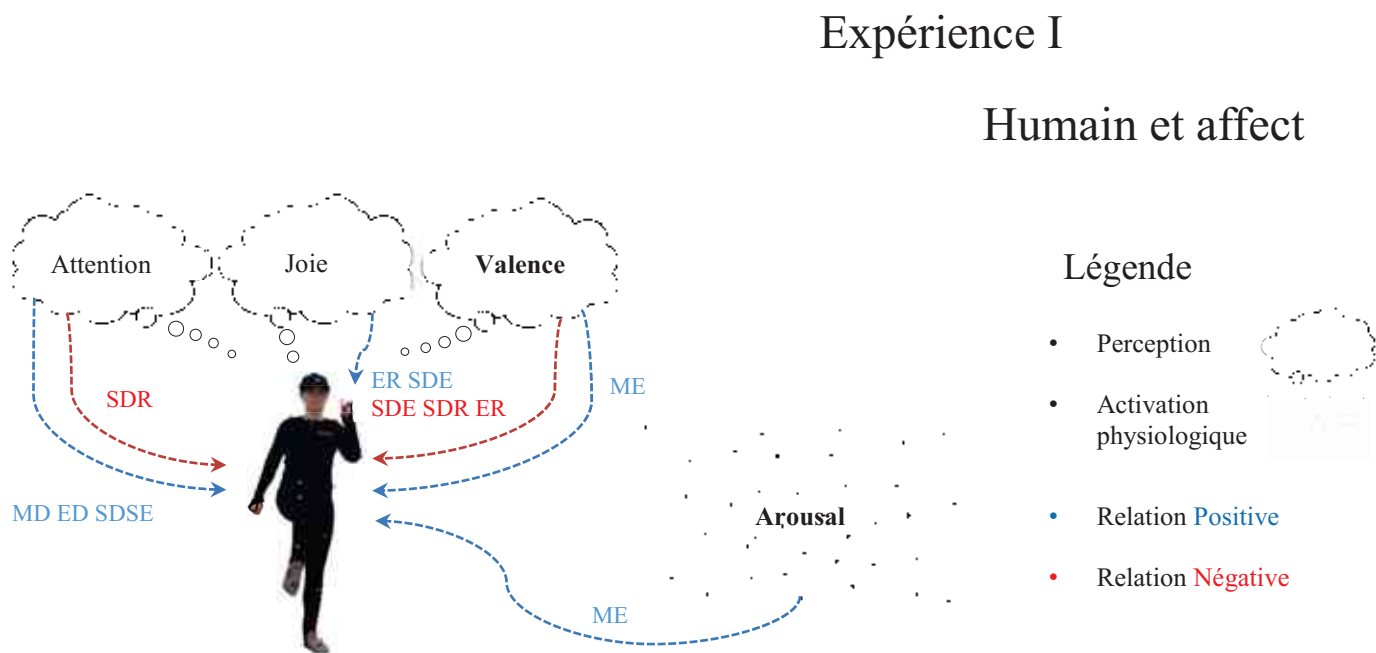


FIGURE 36 : SCHEMA DES PRINCIPAUX RESULTATS DE L'EXPERIENCE I.

L'expérience I a montré qu'il était possible de discriminer des affects dans le contexte d'un protocole avec élicitation non actées au moyen des expressivités des mouvements. Cette première expérience a été précurseur dans l'établissement du choix du traitement des signaux et des variables d'analyses. Le choix de certaines ST communément utilisées dans la littérature, l'ajout de la rigidité et l'usage des méthodes multivariées avec prise en compte de la variabilité interindividuelle (effet aléatoire) a permis d'établir un cadre pertinent dans la suite de nos travaux.

Expérience II

Interaction Humain – Humain

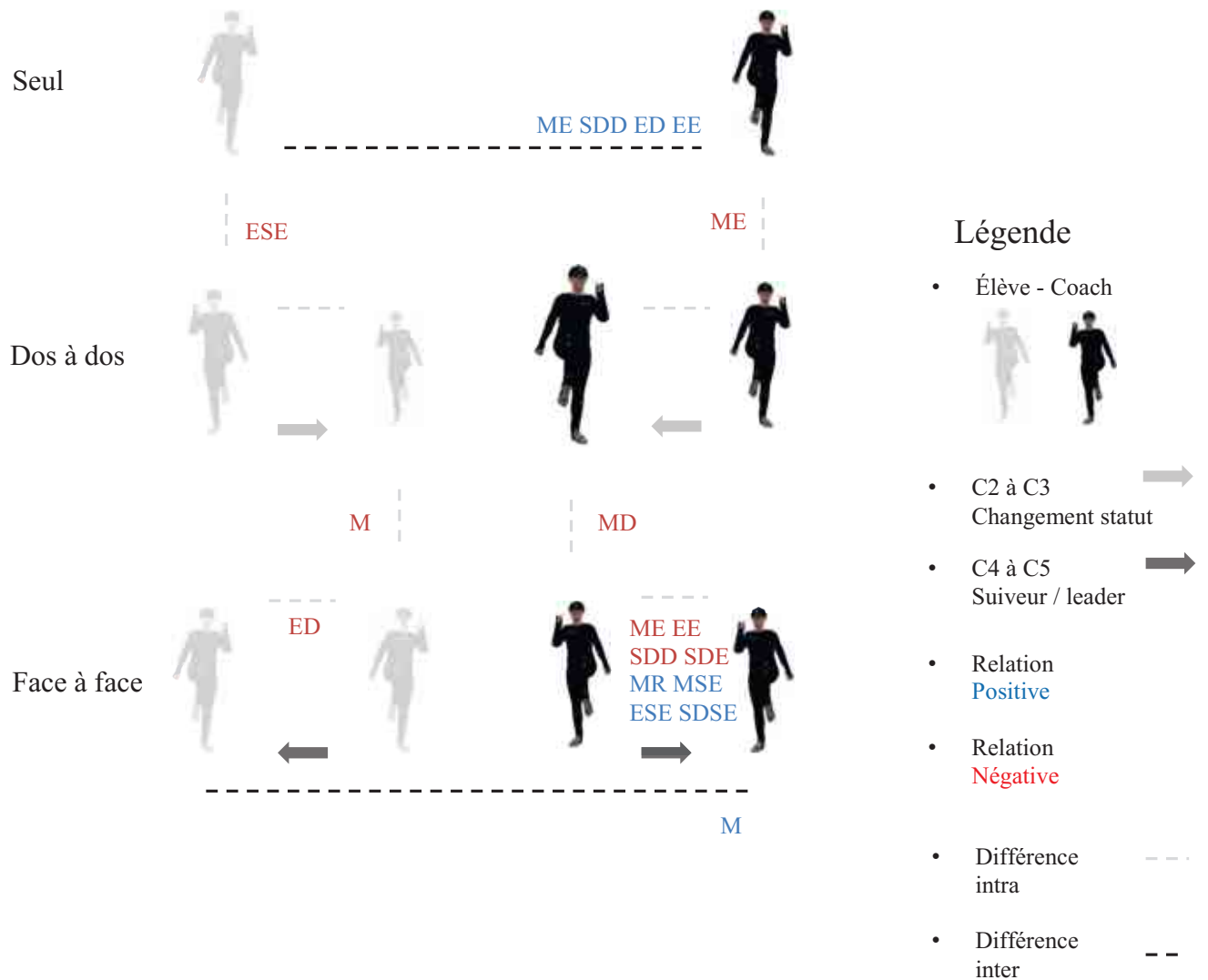


FIGURE 37 : SCHEMA DES PRINCIPAUX RESULTATS DE L'EXPERIENCE II.

L'expérience deux a révélé que des différences pouvaient exister dans le mouvement expressif en fonction de la population, du statut et du contexte. Les précédentes études de la littérature n'avaient pas investigué le corps entier dans ce type d'interaction ce qui en fait une expérience pilote unique. Les choix méthodologiques sont néanmoins à discuter (p. ex. linéarité des conditions, impossibilité de les randomiser, choix de l'interaction exclusivement motrice). Cette expérience fournit également une base de données pour étudier la dynamique de l'interaction et notamment la synchronie.

Expérience III

Interaction Humain – Avatar

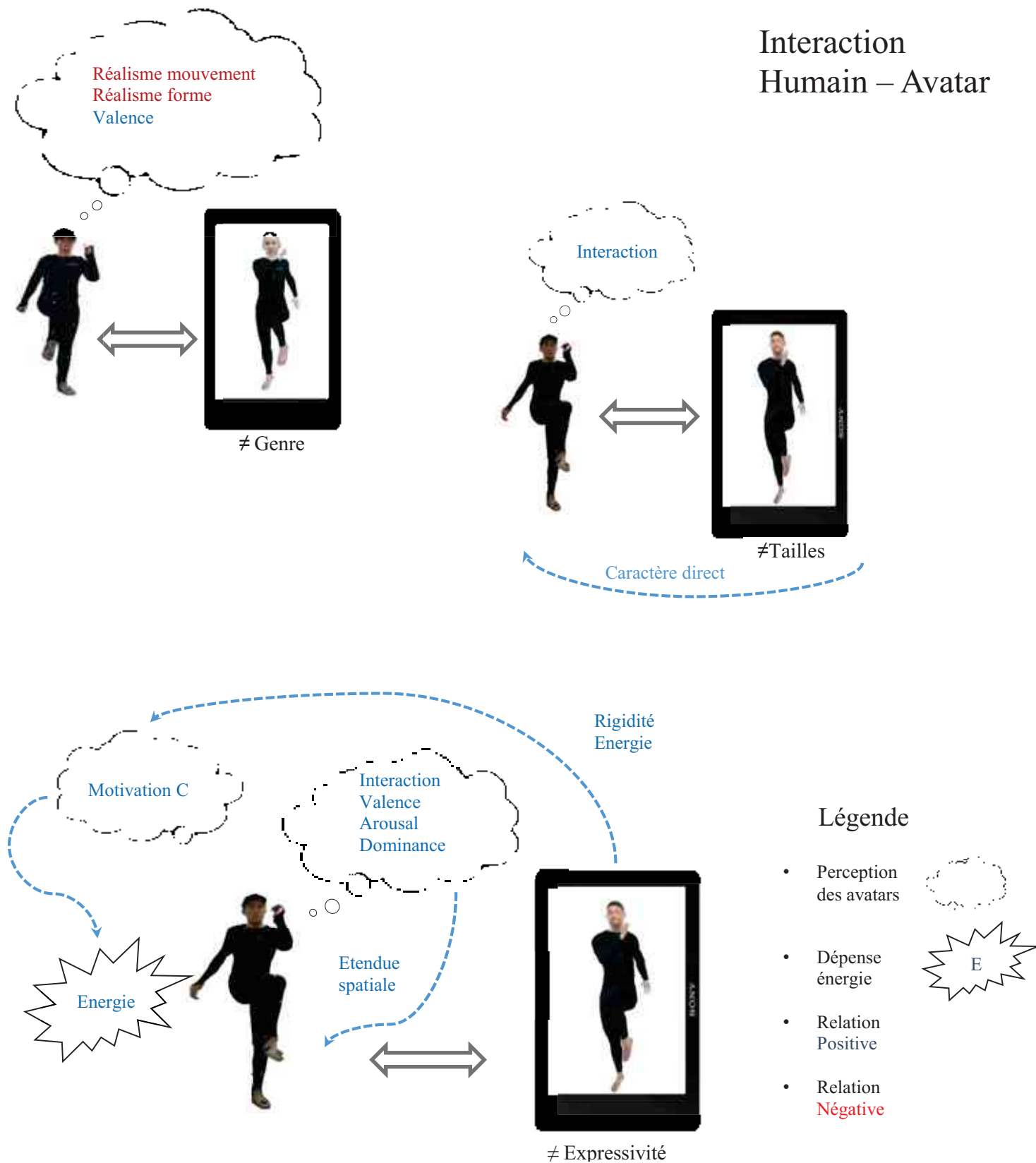


FIGURE 38 : SCHEMAS DES PRINCIPAUX RESULTATS DE L'EXPERIENCE III.

CHAPITRE VI : CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans la dernière expérience de ce travail doctoral, l'importance de variations de l'expressivité du mouvement, mais également de la taille et du genre de personnages virtuels (deux paramètres contrôlés) comme source potentielle d'influence sur la perception et le mouvement de participants a été démontrée. L'analyse corps entier d'un contexte d'exergame a permis de mettre en relation les caractéristiques anthropomorphiques de mouvement et de forme des avatars avec les ressentis des participants. Ces ressentis engendrant par la suite suivant leurs forces des variations dans la réponse motrice. Cette expérience originale est la plus applicative de la thèse, elle permet notamment de distiller des recommandations sur la création de personnages virtuels expressifs.

6.2 DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Les sous-parties suivantes discutent des liens entre les études, des limites et verrous scientifiques. Les résultats de chacune des trois études se trouvent dans les sections des discussions précédentes.

6.2.1 INTERETS ET LIMITES DE LA TACHE DE FITNESS

Les trois expérimentations partageaient la même suite de mouvements à reproduire par les participants. Une tâche de fitness qui mettait en jeu tous les segments corporels (c.-à-d. corps entier) a été sélectionnée pour plusieurs raisons. Des mouvements faciles à apprendre et à reproduire qui ne demandaient pas un niveau d'expertise dans les sports de fitness ont été proposés. Le principal avantage de cette suite de mouvements de fitness est qu'elle évitait les tâches classiques de la vie de tous les jours (p. ex. marcher, boire) qui sont automatiques et qui ont des schémas préétablis forts. Ceci permettant de faire apparaître plus de variabilité en fonction des conditions. Un autre avantage de la création d'une nouvelle séquence de mouvements est la possibilité d'avoir le contrôle sur les phénomènes d'embodiment « bottom-up ». Dans ce but, cette chorégraphie a été conçue pour qu'elle ne contienne pas de gestes emblématiques, iconiques ou métaphoriques portant des sens et significations. Bien que la tâche soit composée par des mouvements d'un niveau de complexité assez faible, elle requerrait quelques coordinations. Ainsi, il est possible que certains participants suivant leur niveau d'expertise aient bloqué des degrés de liberté pour faire cette séquence. Ces gels probables ayant potentiellement caché la variabilité expressive qui aurait dû apparaître en fonction des conditions.

Il sera intéressant d'investiguer comment nos résultats diffèrent en fonction de la tâche dans des protocoles similaires dans le but de choisir des mouvements qui ne possèdent pas de schéma préétabli, qui ne nécessitent pas d'apprentissage, mais qui affichent pour des conditions variées le maximum de variabilité.

CHAPITRE VI : CONCLUSION ET PERSPECTIVES

6.2.2 CONTRAINDRE L'INTERACTION DANS UN ENVIRONNEMENT DE RECHERCHE, DES PROTOCOLES PEU ECOLOGIQUES

Si le but recherché dans l'analyse des mouvements lors interactions variées est de comprendre l'humain, il reste difficile de s'astreindre à un protocole purement contrôlé. La vie de tous les jours étant par essence multifactorielle. Ainsi, les chercheurs qui voudraient faire le lien entre le monde du laboratoire et la vie de tous les jours font face à un fort paradoxe. En choisissant des protocoles moins contrôlés, la variabilité intra-individuelle du mouvement noyée dans l'impact d'autres paramètres était probable. En choisissant des protocoles très contrôlés, l'interprétabilité et la généralisation des résultats étaient compromis. Les deux premières études étaient ainsi plus libres, pour que les participants exécutent les mouvements sans contraintes temporelles et spatiales. Tandis que la dernière expérience permettait au moyen d'un personnage virtuel de contrôler l'un des interactans et donc les conditions, notamment les paramètres cinématiques telle la vitesse qui impacte fortement toutes les expressivités et plus particulièrement l'énergie (la plus importante dans les études expressives). Les paramètres morphologiques tels la taille, le genre et enfin le visage ont été contrôlés ; toutes ces sources étant connues pour transmettre de l'information.

Le système MOCAP a été le même pendant les trois expériences et on peut également se poser la question de l'influence d'un tel système de capture sur le comportement comparé à des systèmes sans combinaisons, sans marqueurs, permettant au participant de rester dans sa tenue. Il serait intéressant qu'un questionnaire sur le ressenti des participants soit systématiquement mis en place dans ce type d'étude. Cela permettrait de mesurer l'impact conscient de ces gênes sur la variabilité du mouvement.

Enfin, des protocoles moins contrôlés auraient sans doute permis grâce à des théories comme l'intégration multi sensorielle d'être plus pertinents, mais également plus complexes à appréhender notamment sur l'interprétation des résultats statistiques. Ceci restant contraire à nos souhaits de départ qui étaient de garder le plus d'interprétabilité possible.

6.2.3 CADRE D'ETUDE DES EXPRESSIVITES

Le cadre d'étude des qualités du mouvement inspiré du LMA permet de relier le subjectif (l'annotation manuelle, la perception) et l'objectif (le calcul automatique) ce qui le rend interprétable. Les deux ST les plus utilisées dans la littérature (étendue spatiale, énergie) fournissent des informations sur l'amplitude et la vitesse du corps entier respectivement. Il est intéressant de noter que ces paramètres sont les plus calculés quand on s'intéresse à l'analyse du mouvement objectif dans la plupart des études utilisant la MOCAP (p. ex. vitesse angulaire du coude, plage d'utilisation de la hanche) (cf. 2.2.4). Une ST plus en lien avec la trajectoire (caractère direct) a également été utilisée ; il fallait en effet prendre en considération que dans les études associant la MOCAP, la trajectoire est également un paramètre fortement étudié. Enfin, l'une des originalités aura été de

CHAPITRE VI : CONCLUSION ET PERSPECTIVES

proposer une mesure de la ST rigidité qui correspondrait perceptuellement au gel des degrés de liberté. Celle-ci serait plus en relation avec des attitudes type « freeze » d'une personne, présent pour une même tâche lorsque l'on ressent la peur par exemple ou lorsque les personnes ne maîtrisent pas la technique du mouvement (c.-à-d. manque d'expertise). Une autre originalité de ce cadre d'étude est d'explorer en plus de la valeur moyenne des ST leur distribution et leur prédictibilité. Ce triptyque d'informations n'est pas redondant et permet de caractériser les paramètres temporels essentiels de la ST, notamment sur son évolution. Les paramètres fréquentiels des ST n'ont pas été étudiés, ce qui est potentiellement une faiblesse dans l'analyse mais pas dans l'interprétabilité des résultats.

La tentative de développer un cadre d'étude claire sur les qualités du mouvement permettrait de combler le trou entre les quantifications cinématiques et la perception de l'expressivité. Cette ligne future est intéressante, mais reste difficile tant la disponibilité des paramètres expressifs et des quantifications associées sont nombreuses. De plus, la vision holistique (caractérisation du corps en entier) est sujette à débat car il a été montré que certaines parties du corps (p.ex. les mains) signent et transmettent plus l'expressivité.

6.2.4 ÉVALUATION DES PERCEPTIONS ET DES ETATS DANS UN CONTEXTE SPORTIF

Dans les études I et III ont respectivement été évalué des perceptions concernant les affects des participants et le ressenti de divers coachs. Dans le cadre de la première étude, évaluer l'état affectif actuel des participants était une problématique méthodologique. Si les états affectifs sont mesurés en utilisant des questionnaires d'auto-évaluation, il est évident qu'ils permettent seulement d'estimer la partie réfléchie des affects. De plus, ce sentiment subjectif varie certainement après la tâche (Gilet, 2008). On pourra se demander si l'évaluation des états d'un tiers (ici le coach virtuel) est soumise à ces mêmes mécanismes. Comme cela a été le cas pour la première expérience ces mesures ont été couplées avec des mesures de type physiologiques tel l'EDA qui sont connues pour être des mesures indirectes de l'activité physiologique. D'autres mesures physiologiques ont été associées avec des événements de modifications corporelles affectives. C'est notamment le cas de l'électromyographie qui a montré des corrélations avec les émotions à valence négative et l'électrocardiogramme (variabilité de la FC) avec des états mentaux de stress (Gunes et Pantic, 2010). Néanmoins en plus de ne calculer qu'une faible part des dynamiques des états affectifs, ces outils sont reliés intrinsèquement aux activités physiques des participants. Ce qui n'est pas forcément un inconvénient dans le cadre d'expérimentation en environnement calme, mais qui pose des problèmes quand l'expérimentation est orientée dans un contexte sportif. La question de la référence (« baseline ») devient ici essentielle. La mesure en condition neutre des potentiels physiologiques pendant la phase de mouvement fournirait une meilleure référence que celle qui est traditionnellement effectuée (attente calme).

Les recherches futures devront néanmoins investiguer comment intégrer au mieux ces outils de mesures objectives des affects dans les protocoles orientés tâche sportive.

CHAPITRE VI : CONCLUSION ET PERSPECTIVES

6.2.5 L'APPROCHE STATISTIQUE DANS LES ETUDES EN SCIENCE DE L'HUMAIN

La question de la variabilité intra-individuelle dans nos études a levé un questionnement sur l'approche statistique à utiliser. Pour les expériences une et trois a été préférée une approche globale qui visait à prendre en compte le mouvement humain dans son entièreté. Pour ce faire, l'analyse multivariée plutôt que les classiques méthodes univariées a été préférée. En choisissant les GLMM, introduire le nombre d'effets fixes (variables dépendantes) souhaités et également contrôler la variabilité interindividuelle (effet aléatoire) a été possible. Il y avait une forte probabilité que les mesures prises au sein d'un même participant durant les différentes conditions soient corrélées sur l'intercept (effet aléatoire intercept). En étudiant les paramètres interindividuels tels que la personnalité, il aurait été possible de clarifier ces variations et expliquer plus de variances. Les sources de variabilités interindividuelles peuvent définir la structure dynamique de la variabilité intra-individuelle et les variations de celle-ci lorsque les contraintes évoluent. Ceci aurait notamment permis d'interpréter les intercepts. Trop éloignées du présent travail pour être traitées, ces problématiques pourraient néanmoins faire l'objet de futurs travaux.

Il a été choisi de façon systématique une fonction de lien linéaire et une distribution conditionnelle de la cible normale, ce qui se rapproche des méthodes courantes de type ANOVA. Ces hypothèses structurales et le sens psychologique qui en découle restent simples et ne sont peut-être pas la meilleure manière de procéder. En effet, les modèles de ce type demandent une réflexion statistique dans le choix des paramètres. Un autre exemple est la structure de covariance. Dans ce cas, choisir une structure « non structurée » a conduit à utiliser plus de degrés de liberté, mais sans se soucier d'hypothèses précises sur la structuration de la covariance. Ainsi les modélisations pourraient être améliorées.

Enfin, réduire la covariance au préalable aurait été possible en réalisant une ACP sur nos variables ; puis utiliser, les axes de ces résultats comme variables prédictives. Néanmoins il a été choisi de privilégier l'interprétabilité à l'efficacité des modèles puisque le but était moins de prédire le phénomène que de le comprendre.

6.2.6 L'IMPORTANCE DE LA VITESSE

La vitesse d'exécution des mouvements est en relation avec la ST énergie. On remarque dans l'expérience I que cette ST est prépondérante pour observer les phénomènes de variabilité intra-individuelle au niveau de la valence perçue et de l'arousal mesuré. De plus, dans l'expérience II, les coachs jouent avec cette ST pour s'adapter aux différentes situations. L'explication des différences perceptuelles et physiques dans l'expressivité du mouvement est ainsi fortement liée à la vitesse ; du moins, quand la durée du mouvement n'est pas contrôlée (cas typique des interactions dans la vie de tous les jours). En effet, dans l'expérience III, cette ST n'est plus un paramètre prépondérant ni discriminant dans les interactions. Ceci est potentiellement dû au fait que dans l'expérience trois, la durée de la séquence des mouvements des coachs est contrôlée. S'il apparaît quelques

CHAPITRE VI : CONCLUSION ET PERSPECTIVES

variations, cette ST n'est plus aussi discriminante. On retrouve plutôt des relations positives entre l'interaction, la valence et l'étendue dans l'espace et le caractère direct. Ceci pose la question de l'analyse de l'énergie et plus généralement de la vitesse dans ces types d'expérimentations. Il n'était pas considéré au départ comme intéressant de calculer des ST prenant en compte les dérivés de la vitesse (fluidité et saccade) du fait de leur covariation avec la ST de l'énergie, engendrant de la redondance de signal. La pertinence d'intégrer de telles ST lorsque la durée du mouvement est contrôlée pour discriminer les conditions se poserait afin d'améliorer les modèles et l'interprétabilité de la mesure.

6.3 CONCLUSION GENERALE

Le sujet initial de cette thèse était : variabilité intra individuelle du mouvement et interaction crédibles avec des personnages virtuels. Le choix de ou des sources possibles d'émergence de variabilité dans le mouvement humain, mais aussi du niveau de granularité de l'analyse étaient à considérer. Ma triple codirection multidisciplinaire (sciences informatique, sciences sociales et sciences du mouvement) a été décisive dans les orientations et sur les choix des protocoles des différentes expériences.

Il a été choisi d'étudier la variabilité intra individuelle dans des contextes interactifs et affectifs variés utilisant le cadre du coach sportif. Un cadre d'étude commun qui unifierait nos études était souhaité. Le souci d'étudier le corps entier de manière holistique était primordial, car l'important était de se rapprocher de la perception humaine. Une mesure arithmétique permettant de quantifier avec la mesure le mouvement était également un point important. Ainsi, les qualités du mouvement étaient d'emblée plus que pertinentes pour relier l'objectif au subjectif. Le calcul de ST diverses (énergie, étendue spatiale, caractère direct et rigidité) prenant en compte le corps entier et l'analyse non redondante de leurs caractéristiques par l'évaluation de leur niveau globale, de leur dispersion ainsi que de leur prédictibilité a mis en évidence la pertinence de ce cadre d'étude dans trois expérimentations. L'affect, le statut, le contexte, la taille, le genre, l'expressivité du mouvement chez un interactans : ces perceptions vont impacter l'expressivité du mouvement d'un humain. Il reste néanmoins de nombreuses zones d'ombres et perspectives pour des recherches futures. À l'inverse de l'analyse holistique, observer certains segments corporels singuliers et chercher le maximum d'informations et/ou de pertinence pourrait être intéressant. Tout comme faire varier le niveau de calcul en prenant des paramètres plus bas niveaux, notamment dans un but de prédiction et de classification. L'analyse dynamique, particulièrement dans le cadre de la deuxième et de la troisième expérience serait appropriée. Les évolutions temporelles des qualités du mouvement au cours de l'interaction en fonction des interactans et de leurs relations respectives (synchronie) apporteraient une source de renseignement supplémentaire pertinente.

Les applications des potentiels de l'expressivité du mouvement ne se limitent pas au domaine du coach virtuel. Appliqué aux robots humanoïdes ce cadre de travail pourrait être intégré de façon systématique lors de l'analyse de l'interaction.

BIBLIOGRAPHIE

- André, E., Klesen, M., Gebhard, P., Allen, S., & Rist, T. (2000). Integrating Models of Personality and Emotions into Lifelike Characters. In A. Paiva (Ed.), *Affective Interactions* (pp. 150–165).
- Argyle, M. (1994). *The Psychology of Interpersonal Behaviour* (5th edition). London: Penguin.
- Arnold, M. B. (1960). *Emotion and Personality*. Columbia University Press.
- Bargas-avila, J. A., & Hornbæk, K. (2011). Old wine in new bottles or novel challenges? A critical analysis of empirical studies of user experience. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*.
- Barliya, A., Omlor, L., Giese, M. A., Berthoz, A., & Flash, T. (2013). Expression of emotion in the kinematics of locomotion. *Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation Cérébrale*, 225(2), 159–176.
- Barrett, R., Noordegraaf, M. V., & Morrison, S. (2008). Gender differences in the variability of lower extremity kinematics during treadmill locomotion. *Journal of Motor Behavior*, 40(1), 62–70.
- Bente, G., Donaghy, W. C., & Suwelack, D. (1998). Sex Differences in Body Movement and Visual Attention: An Integrated Analysis of Movement and Gaze in Mixed-Sex Dyads. *Journal of Nonverbal Behavior*, 22(1), 31–58.
- Bergmann, K., Kopp, S., & Eyssel, F. (2010). Individualized Gesturing Outperforms Average Gesturing – Evaluating Gesture Production in Virtual Humans. *Intelligent Virtual Agents* (pp. 104–117). Springer Berlin Heidelberg.
- Bernhardt, D., & Robinson, P. (2007). Detecting Affect from Non-stylised Body Motions. In A. C. R. Paiva, R. Prada, & R. W. Picard (Eds.), *Affective Computing and Intelligent Interaction* (pp. 59–70). Springer Berlin Heidelberg.
- Berret, B., Chiovetto, E., Nori, F., & Pozzo, T. (2011). Manifold reaching paradigm: how do we handle target redundancy? *Journal of Neurophysiology*, 106(4), 2086–2102.
- Birdwisthell, L. E. (1975). Background considerations of the study of the body as a medium of 'expression. In *The body as a medium of expression* (J. Benthall & T. Polhemus, pp. 34–58). New York, NY, US.
- Bosse, T., Jonker, C. M., & Treur, J. (2008). Formalization of Damasio's theory of emotion, feeling and core consciousness. *Consciousness and Cognition*, 17(1), 94–113.
- Bower, G. H. (1981). Mood and memory. *American Psychologist*, 36(2), 129–148.
- Brothers, L. (1997). *Friday's Footprint: How Society Shapes the Human Mind* (1 edition). New York: Oxford University Press.
- Brox, E., Luque, L. F., Evertsen, G. J., & Hernandez, J. E. G. (2011). Exergames for elderly: Social exergames to persuade seniors to increase physical activity. In *2011 5th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth)* (pp. 546–549).
- Bull, P. (1987). *Posture and Gesture*. Pergamon Press.
- Burger, B., Saarikallio, S., Luck, G., M.R Thompson, & Toiviainen, P. (2012). Emotions Move Us: Basic Emotions in Music Influence People's Movement to Music. In *Proceedings of the 12th International Conference on Music Perception and Cognition (ICMPC) / 8th Triennial Conference of the European Society for the Cognitive Sciences of Music (ESCOM)*. Thessaloniki, Greece.
- Campbell, D. T. (1958). Common fate, similarity, and other indices of the status of aggregates of persons as social entities. *Behavioral Science*, 3(1), 14–25.
- Camurri, A., Lagerlöf, I., & Volpe, G. (2003). Recognizing Emotion from Dance Movement: Comparison of Spectator Recognition and Automated Techniques. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59(1-2), 213–225.
- Canon, W. B. (1927). The James-Lange theory of emotions: a critical examination and an alternative theory. *The American Journal of Psychology*, 39, 106–124.

- Casasanto, D., & Dijkstra, K. (2010). Motor Action and Emotional Memory. *Cognition*, 115(1), 179–185.
- Cassell, J., Bickmore, T., Campbell, L., Vilhjaálmsson, H., & Yan, H. (2001). More than just a pretty face: conversational protocols and the affordances of embodiment. *Knowledge-Based Systems*, 55–64.
- Castellano, G., Villalba, S. D., & Camurri, A. (2007). Recognising Human Emotions from Body Movement and Gesture Dynamics. In *Proceedings of the 2nd international conference on Affective Computing and Intelligent Interaction* (pp. 71–82). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Chaminade, T., Hodgins, J., & Kawato, M. (2007). Anthropomorphism influences perception of computer-animated characters' actions. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2(3), 206–216.
- Chanel, G., Ansari-Asl, K., & Pun, T. (2007). Valence-arousal evaluation using physiological signals in an emotion recall paradigm. In *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics* (pp. 2662–2667).
- Cheng, J., Edwards, L. J., Maldonado-Molina, M. M., Komro, K. A., & Muller, K. E. (2010). Real longitudinal data analysis for real people: building a good enough mixed model. *Statistics in Medicine*, 29(4), 504–520.
- Chi, D., Costa, M., Zhao, L., & Badler, N. (2000). The EMOTE Model for Effort and Shape. In *Proceedings of the 27th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques* (pp. 173–182). New York, NY, USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- Coan, J. A., & Allen, J. J. B. (2007). *Handbook of Emotion Elicitation and Assessment*. Oxford; New York: Oxford University Press.
- Colman, A. M. (2008). *A Dictionary of Psychology* (3rd ed.). Oxford University Press.
- Cosnier, J., & Vaysse, J. (1997). Sémiotique des gestes communicatifs. *Nouveaux Actes Sémiotiques*, (52-54), 7–28.
- Coulson, M. (2004). Attributing Emotion to Static Body Postures: Recognition Accuracy, Confusions, and Viewpoint Dependence. *Journal of Nonverbal Behavior*, 28(2), 117–139.
- Cowell, A. . (2001). *Increasing the Credibility of Anthropomorphic Computer Characters: The Effects of Manipulating Nonverbal Interaction Style and Demographic Embodiment*. Central Florida, Orlando.
- Crane, E. A., & Gross, M. M. (2013). Effort-Shape Characteristics of Emotion-Related Body Movement. *Journal of Nonverbal Behavior*, 37(2), 91–105.
- Crane, E., Gross, M., & Rothman, E. (2009). Methods for Quantifying Emotion-Related Gait Kinematics. In R. Shumaker (Ed.), *Virtual and Mixed Reality* (pp. 23–31). Springer Berlin Heidelberg.
- Dael, N., Mortillaro, M., & Scherer, K. R. (2012). Emotion expression in body action and posture. *Emotion*, 12(5), 1085–1101.
- Dahl, S., & Friberg, A. (2007). Visual Perception of Expressiveness in Musicians' Body Movements. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 24(5), 433–454. h
- Darwin, C. (1872). *The expression of the emotions in man and animals*. London, John Murray. Retrieved from <http://archive.org/details/expressionofemot1872darwin>
- Davidson, R. J., Sherer, K. R., & Goldsmith, H. H. (2009). *Handbook of Affective Sciences*. OUP USA.
- Davis, J. W., & Bobick, A. F. (1998). Virtual PAT: A Virtual Personal Aerobics Trainer. In *WORKSHOP ON PERCEPTUAL USER INTERFACES* (pp. 13–18).
- De Gelder, B. (2009). Why bodies? Twelve reasons for including bodily expressions in affective neuroscience. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364(1535), 3475–3484.
- Delaherche, E., Chetouani, M., Mahdhaoui, A., Saint-Georges, C., Viaux, S., & Cohen, D. (2012). Interpersonal Synchrony: A Survey of Evaluation Methods across Disciplines. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 3(3), 349–365.
- Dell, C. (1977). *A Primer for Movement Description Using Effort-shape and Supplementary Concepts*. Dance Notation Bureau, Center for Movement Research and Analysis, Bureau Press.
- Delwiche, J. (2004). The impact of perceptual interactions on perceived flavor. *Food Qual. Pref*, 15, 137–146.
- DeVault, D., Artstein, R., Benn, G., Dey, T., Fast, E., Gainer, A., ... Morency, L.-P. (2014). SimSensei Kiosk: A virtual human interviewer for healthcare decision support. In *Proceedings of the 13th Inter-national Conference*

on *Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2014)*. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.

Diedrich, F. J., & Warren Jr., W. H. (1995). Why change gaits? Dynamics of the walk-run transition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(1), 183–202.

Dixon, T. (2003). What was an emotion in 1884? William James and his critics. In *From Passions to Emotions*. Cambridge University Press.

Dunbar, N. E., Bippus, A. M., & Young, S. L. (2008). Interpersonal Dominance in Relational Conflict: A View from Dyadic Power Theory. *Interpersona: An International Journal on Personal Relationships*, 2(1), 1–33.

Efron, D. (1941). *Gesture and Environment: A Tentative Study of Some of the Spatio-temporal and Linguistic Aspects of the Gestural Behavior of Eastern Jews and Southern Italians in New York City, Living Under Similar as Well as Different Environmental Conditions*. King's Crown Press.

Ehrlichman, H., & Halpern, J. N. (1988). Affect and memory: Effects of pleasant and unpleasant odors on retrieval of happy and unhappy memories. *Journal of Personality and Social Psychology*, 55(5), 769–779.

Ekkekakis, P. (2013). *The Measurement of Affect, Mood, and Emotion: A Guide for Health-Behavioral Research*. Cambridge University Press.

Ekman, P. (1983). *Emotion in the Human Face* (2 edition). Cambridge Cambridgeshire; New York; Paris: Cambridge University Press.

England, D. (2011). *Whole Body Interaction*. Springer Science & Business Media.

Faisal, A. A., Selen, L. P. J., & Wolpert, D. M. (2008). Noise in the nervous system. *Nature Reviews. Neuroscience*, 9(4), 292–303.

Fox, E. (2008). *Emotion Science: Cognitive and Neuroscientific Approaches to Understanding Human Emotions*. Basingstoke: Palgrave Macmillan.

Fredrickson, B. L. (1998). What Good Are Positive Emotions? *Review of General Psychology: Journal of Division 1, of the American Psychological Association*, 2(3), 300–319.

Frijda, N. H. (1987). *The Emotions*. Cambridge University Press.

Gallaher, P. (1992). Individual Differences in Nonverbal Behavior: Dimensions of Style. *Journal of Personality and Social Psychology*, 63(1), 133–145.

Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., & Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, 119(2), 593–609.

Gifford, R. (1994). A lens-mapping framework for understanding the encoding and decoding of interpersonal dispositions in nonverbal behavior. *Journal of Personality and Social Psychology*, 66(2), 398–412.

Gilet, A.-L. (2008). Mood induction procedures: a critical review. *L'Encéphale*, 34(3), 233–239.

Giraud, T. (2015). *THESE "Full Body Interaction. Toward an integration of individual differences"*. Thesis. Université Paris Sud - Paris XI.

Glowinski, D., Dael, N., Camurri, A., Volpe, G., Mortillaro, M., & Scherer, K. (2011). Toward a Minimal Representation of Affective Gestures. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 2(2), 106–118.

Goleman, D. (2007). *Social Intelligence: The New Science of Human Relationships* (Reprint edition). New York, N.Y.: Bantam.

Grassia, F. S. (1998). Practical Parameterization of Rotations Using the Exponential Map. *Journal of Graphics Tools*, 3(3), 29–48.

Gray, J. A. (1982). Précis of The neuropsychology of anxiety: An enquiry into the functions of the septo-hippocampal system. *Behavioral and Brain Sciences*, 5(03), 469–484.

Gross, M. M., Crane, E. A., & Fredrickson, B. L. (2010). Methodology for Assessing Bodily Expression of Emotion. *Journal of Nonverbal Behavior*, 34(4), 223–248.

Gross, M. M., Crane, E. A., & Fredrickson, B. L. (2012). Effort-Shape and kinematic assessment of bodily expression of emotion during gait. *Human Movement Science*, 31(1), 202–221.

Gunes, H., & Pantic, M. (2010). Automatic, Dimensional and Continuous Emotion Recognition. *International Journal of Synthetic Emotions*, 1(1), 68–99.

- Haag, A., Goronzy, S., Schaich, P., & Williams, J. (2004). Emotion Recognition Using Bio-sensors: First Steps towards an Automatic System. In E. André, L. Dybkjær, W. Minker, & P. Heisterkamp (Eds.), *Affective Dialogue Systems* (Vol. 3068, pp. 36–48). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Hall, J. A. (1990). *Nonverbal Sex Differences: Communication Accuracy and Expressive Style*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Hart, Y., Noy, L., Feniger-Schaal, R., Mayo, A. E., & Alon, U. (2014). Individuality and Togetherness in Joint Improvised Motion. *PLoS ONE*, 9(2).
- Hartmann, B., Mancini, M., & Pelachaud, C. (2002). Formational parameters and adaptive prototype instantiation for MPEG-4 compliant gesture synthesis. In *Proceedings of Computer Animation* (pp. 111–119).
- Hartmann, B., Mancini, M., & Pelachaud, C. (2005). Implementing Expressive Gesture Synthesis for Embodied Conversational Agents. In S. Gibet, N. Courty, & J.-F. Kamp (Eds.), *Gesture in Human-Computer Interaction and Simulation* (pp. 188–199). Springer Berlin Heidelberg.
- Henley, N. M., & Kramarae, C. (2001). Gender, power, and miscommunication. *Feminism in the Study of Religion: A Reader*, 34–60.
- Hodgins, J., Jörg, S., O’Sullivan, C., Park, S. I., & Mahler, M. (2010). The Saliency of Anomalies in Animated Human Characters. *ACM Transactions on Applied Perception*, 7(4).
- Izard, C. E. (1971). *The face of emotion*. Appleton-Century-Crofts.
- Izard, C. E., Kagan, J., & Zajonc, R. B. (1984). *Emotions, Cognition, and Behavior* (Cambridge University Press; 1St Edition edition). CUP Archive.
- Jack, R. E., Garrod, O. G. B., & Schyns, P. G. (2014). Dynamic Facial Expressions of Emotion Transmit an Evolving Hierarchy of Signals over Time. *Current Biology*, 24(2), 187–192.
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & Psychophysics*, 14(2), 201–211.
- Johnsen, K., Raij, A., Stevens, A., Lind, D. S., & Lok, B. (2007). The Validity of a Virtual Human Experience for Interpersonal Skills Education. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1049–1058). New York, NY, USA: ACM.
- juhel, J., & Rouxel, G. (2015). *Différences et variabilités en psychologie*. Presses universitaires de Rennes.
- Kang, G., & Gross, M. (2011). Gait kinematics change when emotions are felt vs. portrayed. In *American Society of Biomechanics*. Los Angeles, CA.
- Kapadia, M., Chiang, I., Thomas, T., Badler, N. I., & Kider, Jr., J. T. (2013). Efficient Motion Retrieval in Large Motion Databases. In *Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games* (pp. 19–28). New York, NY, USA: ACM.
- Kapur, A., Kapur, A., Virji-Babul, N., Tzanetakis, G., & Driessen, P. F. (2005). Gesture-Based affective computing on motion capture data. In *Proceedings of the First international conference on Affective Computing and Intelligent Interaction* (pp. 1–7). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Karg, M., Jenke, R., Seiberl, W., Kuuhnlentz, K., Schwirtz, A., & Buss, M. (2009). A comparison of PCA, KPCA and LDA for feature extraction to recognize affect in gait kinematics. In *3rd International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops, 2009. ACII 2009* (pp. 1–6).
- Keller, P. E., Knoblich, G., & Repp, B. H. (2007). Pianists duet better when they play with themselves: on the possible role of action simulation in synchronization. *Consciousness and Cognition*, 16(1), 102–111.
- Kendon, A. (2004). *Gesture: Visible Action as Utterance*. Cambridge University Press.
- Kipp, M. (2001). *ANVIL - A Generic Annotation Tool for Multimodal Dialogue*.
- Kleinsmith, A., & Bianchi-Berthouze, N. (2007). Recognizing Affective Dimensions from Body Posture. In *Proceedings of the 2nd international conference on Affective Computing and Intelligent Interaction* (pp. 48–58). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Kleinsmith, A., & Bianchi-Berthouze, N. (2013). Affective Body Expression Perception and Recognition: A Survey. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 4(1), 15–33.
- Knapp, M., & Hall, J. (2009). *Nonverbal Communication in Human Interaction*. Cengage Learning.

- Kruskal, J. B., & Wish, M. (1978). *Multidimensional Scaling*. SAGE Publications.
- Laban, R., & Ullmann, L. (2001). *The Mastery of Movement* (Édition : 4th). Alton, Hampshire: Dance Books.
- Laird, J. D., & Lacasse, K. (2014). Bodily Influences on Emotional Feelings: Accumulating Evidence and Extensions of William James's Theory of Emotion. *Emotion Review*, 6(1), 27–34.
- Lakens, D. (2010). Movement synchrony and perceived entitativity. *Journal of Experimental Social Psychology*, 46(5), 701–708.
- Lance, B., & Marsella, S. C. (2007). Emotionally Expressive Head and Body Movement During Gaze Shifts. In *Proceedings of the 7th International Conference on Intelligent Virtual Agents* (pp. 72–85). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Larcom, M. J., & Isaacowitz, D. M. (2009). Rapid Emotion Regulation After Mood Induction: Age and Individual Differences. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 64B(6), 733–741.
- Latash, M. L., Scholz, J. P., & Schöner, G. (2002). Motor control strategies revealed in the structure of motor variability. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30(1), 26–31.
- Lazarus, R. S. (1991). Progress on a cognitive-motivational-relational theory of emotion. *The American Psychologist*, 46(8), 819–834.
- Levenson, R. W., Carstensen, L. L., Friesen, W. V., & Ekman, P. (1991). Emotion, physiology, and expression in old age. *Psychology and Aging*, 6(1), 28–35.
- Levy, J. A., & Duke, M. P. (2003). The Use of Laban Movement Analysis in the Study of Personality, Emotional State and Movement Style: An Exploratory Investigation of the Veridicality of “Body Language.” *Individual Differences Research*, 1(1), 39–63.
- Linda Tickle-Degnen, R. R. (1987). Group rapport and nonverbal behavior. *Review of Personality and Social Psychology*, 9.
- Llobera, J., Spanlang, B., Ruffini, G., & Slater, M. (2010). Proxemics with Multiple Dynamic Characters in an Immersive Virtual Environment. *ACM Transactions on Applied Perception*, 8(1).
- Lorr, M., & Shea, T. M. (1979). Are mood states bipolar? *Journal of Personality Assessment*, 43(5), 468–472.
- Lowe, S., & ÓLaighin, G. (2012). The age of the virtual trainer. *Procedia Engineering*, 34, 242–247.
- Luck, G., Saarikallio, S., & Toiviainen, P. (2009). Personality traits correlate with characteristics of music-induced movement. Presented at the 7th Triennial Conference of European Society for the Cognitive Sciences of Music.
- Lyons, E. J., Tate, D. F., Ward, D. S., Ribisl, K. M., Bowling, J. M., & Kalyanaraman, S. (2014). Engagement, enjoyment, and energy expenditure during active video game play. *Health Psychology: Official Journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, 33(2), 174–181.
- Marin, L., Issartel, J., & Chaminade, T. (2009). Interpersonal motor coordination: From human–human to human–robot interactions. *Interaction Studies*, 10(3), 479–504.
- Mathieu Barnachon, S. B. (2012). *Reconnaissance d'Actions à Partir de Capture de Mouvements*. Université Claude Bernard - Lyon I.
- McDonnell, R., Jörg, S., McHugh, J., Newell, F. N., & O'Sullivan, C. (2009). Investigating the Role of Body Shape on the Perception of Emotion. *ACM Trans. Appl. Percept.*, 6(3), 14:1–14:11.
- McDougall, W. (1908). *Introduction to Social Psychology*. Methuen & Co.- London. Retrieved from <http://archive.org/details/introductionto020342mbp>
- McNeill, D. (2008). *Gesture and Thought*. University of Chicago Press.
- McNeill, D. (1992). *Hand and Mind: What Gestures Reveal about Thought* (1 edition). Chicago: University Of Chicago Press.
- Mehrabian, A. (1996). Pleasure-arousal-dominance: A general framework for describing and measuring individual differences in Temperament. *Current Psychology*, 14(4), 261–292.
- Meijer, M. de. (1989). The contribution of general features of body movement to the attribution of emotions. *Journal of Nonverbal Behavior*, 13(4), 247–268.

- Mendl, M., Burman, O. H. P., & Paul, E. S. (2010). An integrative and functional framework for the study of animal emotion and mood. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1696), 2895–2904.
- Michalak, J., Troje, N. F., Fischer, J., Vollmar, P., Heidenreich, T., & Schulte, D. (2009). Embodiment of sadness and depression--gait patterns associated with dysphoric mood. *Psychosomatic Medicine*, 71(5), 580–587. <http://doi.org/10.1097/PSY.0b013e3181a2515c>
- Montepare, J., Koff, E., Zaitchik, D., & Albert, M. (1999). The Use of Body Movements and Gestures as Cues to Emotions in Younger and Older Adults. *Journal of Nonverbal Behavior*, 23(2), 133–152.
- Morrison, A. J., Mitchell, P., & Brereton, M. (2007). The Lens of Ludic Engagement: Evaluating Participation in Interactive Art Installations. In *Proceedings of the 15th International Conference on Multimedia* (pp. 509–512). New York, NY, USA: ACM.
- Mowrer, O. H. (1960). *Learning theory and behavior*. Wiley; First Edition edition.
- Newell, K. M., Mayer-Kress, G., & Liu, Y.-T. (2009). Aging, time scales, and sensorimotor variability. *Psychology and Aging*, 24(4), 809–818.
- NICKOLAS B. COTTRELL, D. L. W. (1968). Social facilitation of dominant responses by the presence of an audience and the mere presence of others. *Journal of Personality and Social Psychology - PSP*, 9(3), 245–250.
- Niedenthal, P. M. (2007). Embodying Emotion. *Science*, 316(5827), 1002–1005.
- 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.
- Nummenmaa, L., & Niemi, P. (2004). Inducing Affective States With Success-Failure Manipulations: A Meta-Analysis. *Emotion*, 4(2), 207–214.
- O'Connor, Z. (2011). Colour psychology and colour therapy: Caveat emptor. *Color Research & Application*, 36(3), 229–234.
- Oatley, K., & Johnson-laird, P. N. (1987). Towards a Cognitive Theory of Emotions. *Cognition and Emotion*, 1(1), 29–50.
- Omlor, L., & Giese, M. A. (2007). Extraction of spatio-temporal primitives of emotional body expressions. *Neurocomputing*, 70(10–12), 1938–1942. <http://doi.org/10.1016/j.neucom.2006.10.100>
- Ortony, A., & Turner, T. J. (1990). What's basic about basic emotions? *Psychological Review*, 97(3), 315–331.
- Osgood, C. E., Suci, G. J., & Tannenbaum, P. (1967). *The Measurement of Meaning*. Urbana: University of Illinois Press.
- Oudejans, R. R. D., Kuijpers, W., Kooijman, C. C., & Bakker, F. C. (2010). Thoughts and attention of athletes under pressure: skill-focus or performance worries? *Anxiety, Stress & Coping*, 24(1), 59–73.
- Ouss, L., Carton, S., Jouvent, R., & Widloëcher, D. (1991). Traduction et validation de l'échelle d'émotions différentielle d'Izard : exploration de la qualification verbale des émotions. *L'Encéphale*, 16(6), 453–458.
- Oviatt, D. (2005). *Social Facilitation and Motor Performance: A Meta-Analysis* (Thesis).
- P J Lang, M. M. B. (2008). International Affective Picture System (IAPS): Affective Ratings of Pictures and Instruction Manual (Rep. No. A-8). *Technical Report A-8*.
- Panksepp, J. (1982). Towards a general psychological theory of emotion. *Behavioral and Brain Sciences*, 5(03), 407 – 422.
- Panksepp, J. (2000). Affective Consciousness and the Instinctual Motor System: The Neural Sources of Sadness and Joy. In R. D. Ellis & N. Newton (Eds.), *The Caldron of Consciousness: Motivation, Affect and Self-Organization - an Anthology. Advances in Consciousness Research* (pp. 27–54). John Benjamins.
- Parent, R., Ebert, D. S., Gould, D., Gross, M., Kazmier, C., Lumsden, C. J., ... Worley, S. (2009). *Computer Animation Complete: All-in-One: Learn Motion Capture, Characteristic, Point-Based, and Maya Winning Techniques* (1 edition). Burlington, MA: Morgan Kaufmann.
- Park, S., & Catrambone, R. (2007). Social facilitation effects of virtual humans. *Human Factors*, 49(6), 1054–1060.
- Paul Ekman, W. V. F. (1969). The Repertoire of Nonverbal Behavior: Categories, Origins, Usage, and Coding. *Semiotica*, 1(1), 49–98.

- Pauline Maillot, A. P. (2012). The effects of video games on cognitive aging. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie Du Vieillissement*, 10(1), 83–94.
- Piana, S., Stagliano, A., Camurri, A., & Odone, F. (2013). A set of full-body movement features for emotion recognition to help children affected by autism spectrum condition. Presented at the IDGEI International Workshop.
- Picard, R. W. (2000). *Affective Computing*. MIT Press.
- Pincus, S. M., Gladstone, I. M., & Ehrenkranz, R. A. (1991). A regularity statistic for medical data analysis. *Journal of Clinical Monitoring*, 7(4), 335–345.
- Plutchik, R. (1980). *Emotion, a Psychoevolutionary Synthesis* (University of Illinois Press). Harper & Row.
- Pollick, F. E., Paterson, H. M., Bruderlin, A., & Sanford, A. J. (2001). Perceiving affect from arm movement. *Cognition*, 82(2), B51–61.
- Rajagopal, M. K. (2012, May 11). *Cloning with gesture expressivity* (phdthesis). Institut National des Télécommunications. Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00719301/document>
- Rehm, M., Vogt, T., Wissner, M., & Bee, N. (2008). Dancing the Night Away: Controlling a Virtual Karaoke Dancer by Multimodal Expressive Cues. In *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Volume 3* (pp. 1249–1252). Richland, SC: International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.
- Richmond, V. P., McCroskey, J. C., & Hickson, M. L. (2011). *Nonverbal Behavior in Interpersonal Relations* (7 edition). Boston: Pearson.
- Ridgeway, C. L., Diekema, D., & Johnson, C. (1995). Legitimacy, Compliance, and Gender in Peer Groups. *Social Psychology Quarterly*, 58(4), 298–311.
- Roether, C. L., Omlor, L., Christensen, A., & Giese, M. A. (2009). Critical features for the perception of emotion from gait. *Journal of Vision*, 9(6).
- Rosenberg, R. S., Baughman, S. L., & Bailenson, J. N. (2013). Virtual Superheroes: Using Superpowers in Virtual Reality to Encourage Prosocial Behavior. *PLoS ONE*, 8(1), e55003.
- Rottenberg, J., Ray, R. D., & Gross, J. J. (2007). Emotion elicitation using films. In J. A. Coan & J. J. B. Allen (Eds.), *Handbook of emotion elicitation and assessment* (pp. 9–28). New York, NY, US: Oxford University Press.
- Roux, V., & Bril, B. (2002). *Le geste technique : réflexions méthodologiques et anthropologiques*. Ramonville Saint-Agne: Erès.
- Runeson, S., & Frykholm, G. (1983). Kinematic specification of dynamics as an informational basis for person-and-action perception: Expectation, gender recognition, and deceptive intention. *Journal of Experimental Psychology: General*, 112(4), 585–615.
- Russell, J. A., Weiss, A., & Mendelsohn, G. A. (1989). Affect Grid: A single-item scale of pleasure and arousal. *Journal of Personality and Social Psychology*, 57(3), 493–502.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 54–67.
- Sacheli, L. M., Tidoni, E., Pavone, E. F., Aglioti, S. M., & Candidi, M. (2013). Kinematics fingerprints of leader and follower role-taking during cooperative joint actions. *Experimental Brain Research*, 226(4), 473–486.
- Samadani, A.-A., Burton, S., Gorbet, R., & Kulic, D. (2013). Laban Effort and Shape Analysis of Affective Hand and Arm Movements. In *Humaine Association Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)* (pp. 343–348).
- Savva, N., & Bianchi-Berthouze, N. (2012). Automatic Recognition of Affective Body Movement in a Video Game Scenario. In A. Camurri & C. Costa (Eds.), *Intelligent Technologies for Interactive Entertainment* (pp. 149–159). Springer Berlin Heidelberg.
- Scherer, K. R., Bänziger, T., & Roesch, E. (2010). *A Blueprint for Affective Computing: A sourcebook and manual*. Series in Affective Science.

- Schmidt, R. C., Bienvenu, M., Fitzpatrick, P. A., & Amazeen, P. G. (1998). A comparison of intra- and interpersonal interlimb coordination: coordination breakdowns and coupling strength. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 24(3), 884–900.
- Schorer, J., Baker, J., Fath, F., & Jaitner, T. (2007). Identification of interindividual and intraindividual movement patterns in handball players of varying expertise levels. *Journal of Motor Behavior*, 39(5), 409–421.
- Sheets-Johnstone, M. (2010). Kinesthetic experience: understanding movement inside and out. *Body, Movement and Dance in Psychotherapy*, 5(2), 111–127.
- Shikanai, N., Sawada, M., & Ishii, M. (2013). Development of the Movements Impressions Emotions Model: Evaluation of Movements and Impressions Related to the Perception of Emotions in Dance. *Journal of Nonverbal Behavior*, 37(2), 107–121. <http://doi.org/10.1007/s10919-013-0148-y>
- Shimbun, T. Y. (2008). Blue streetlights believed to prevent suicides, street crime. Retrieved from <http://www.seattletimes.com/nation-world/blue-streetlights-believed-to-prevent-suicides-street-crime/>
- Stanley Schachter, J. E. S. (1962). Cognitive, Social, and Physiological Determinants of Emotional State. In: *Psychological Review* 69(5): 379–399. *Psychological Review*, 69(5), 379–99.
- Stins, J. F., Roerdink, M., & Beek, P. J. (2011). To freeze or not to freeze? Affective and cognitive perturbations have markedly different effects on postural control. *Human Movement Science*, 30(2), 190–202.
- Strongman, K. T. (2003). *The psychology of emotion: from everyday life to theory*. Wiley.
- Swartout, W., Traum, D., Artstein, R., Noren, D., Debevec, P., Bronnenkant, K., ... White, K. (2010). Ada and Grace: Toward Realistic and Engaging Virtual Museum Guides. *Intelligent Virtual Agents* (pp. 286–300). Springer Berlin Heidelberg.
- T. Chaminade, D. W. F. (2005). Motor interference between Humans and Humanoid Robots: Effect of Biological and Artificial Motion, 96–101. <http://doi.org/10.1109/DEVLRN.2005.1490951>
- Tilmanne, J. (2013). *Data-driven Stylistic Humanlike Walk Synthesis*. Thesis. University of Mons, Faculty of Engineering.
- Uziel, L. (2007). Individual differences in the social facilitation effect: A review and meta-analysis. *Journal of Research in Personality*, 41(3), 579–601.
- Van Dyck, E., Maes, P.-J., Hargreaves, J., Lesaffre, M., & Leman, M. (2013). Expressing Induced Emotions Through Free Dance Movement. *Journal of Nonverbal Behavior*, 37(3), 175–190.
- Velloso, E., Bulling, A., & Gellersen, H. (2013). MotionMA: Motion Modelling and Analysis by Demonstration. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1309–1318).
- Venture, G. (2010). Human characterization and emotion characterization from gait. In *2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)* (pp. 1292–1295).
- Vesper, C., van der Wel, R. P. R. D., Knoblich, G., & Sebanz, N. (2011). Making oneself predictable: reduced temporal variability facilitates joint action coordination. *Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Experimentation Cerebrale*, 211(3-4), 517–530.
- Vinciarelli, A., Pantic, M., & Bourlard, H. (2009). Social signal processing: Survey of an emerging domain. *Image and Vision Computing*, 27(12), 1743–1759.
- W. L. Johnson, J. W. R. (2000). Animated Pedagogical Agents: Face-to-Face Interaction in Interactive Learning Environments. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 11, 47–78.
- Wallbott, H. G. (1998). Bodily expression of emotion. *European Journal of Social Psychology*, 28(6), 879–896.
- Watson, J. . (1930). *Behaviorism* ((Revised edition)). Chicago: University of Chicago Press.
- Westermann, R., KordeliaStahl, GünterHesse, Friedrich W. (1996). Relative effectiveness and validity of mood induction procedures: a meta- analysis. *European Journal of Social Psychology*, 26(4), 557–580.
- whiltfield, T. W., & Whiltshire, T. J. (1990). Color psychology: A critical review. *Genetic, Social, and General Psychology Monographs*, 116(4), 385–411.
- Yee, N. (2006). Motivations for play in online games. *Cyberpsychology & Behavior: The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society*, 9(6), 772–775. <http://doi.org/10.1089/cpb.2006.9.772>

- Yee, N., & Bailenson, J. (2007). The Proteus Effect: The Effect of Transformed Self-Representation on Behavior. *Human Communication Research*, 33(3), 271–290.
- 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.
- Zajonc, R. B. (1965). Social Facilitation. *Science*, 149(3681), 269–274.
- Zajonc, R. B. (1980). Feeling and thinking: Preferences need no inferences. *American Psychologist*, 35(2), 151–175.
- Zhao, R., Papangelis, A., & Cassell, J. (2014). Towards a Dyadic Computational Model of Rapport Management for Human-Virtual Agent Interaction. *Intelligent Virtual Agents* (pp. 514–527). Springer International Publishing.
- Zibrek, K., Hoyet, L., Ruhland, K., & McDonnell, R. (2013). Evaluating the Effect of Emotion on Gender Recognition in Virtual Humans. In *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception* (pp. 45–49). New York, NY, USA: ACM.

SCIENCES TRANSVERSALES

Introduction générale	1
Tout passe	2
Quelques mots sur l'installation.....	2
Le binôme	3
Explorer les possibilités	4
 Sphaera.....	 6
Quelques mots sur l'installation.....	6
Le binôme	6
Explorer les possibilités	7
 Conclusion et perspectives générales	 9
Bibliographie	10

INTRODUCTION GENERALE

J'ai eu l'occasion de créer deux installations interactives Arts/Sciences pendant ma thèse.

- Une dans le cadre de ma mission doctorale en 2^e année : **Tout passe**.
- Une en troisième année, dans un cadre plus personnel : **Sphaera**.

J'ai décidé de les présenter en fin de ce manuscrit, car i) elles présentent un intérêt scientifique certain étant en lien avec mon sujet d'étude (la variabilité du mouvement), ii) elles amènent à se questionner sur des façons moins guidées de récolter et d'analyser des données, iii) elles ne peuvent être jugées sur un plan scientifique commun.

Des sciences transversales aux protocoles libres et proches du dialogue science-société dans la démarche.

Les installations interactives sont de plus en plus utilisées dans le cadre de recherche sur l'expérience du participant (p. ex. engagement des visiteurs (Morrison et coll. 2007). Dû aux récentes avancées dans les technologies connectées, ce domaine d'étude fondu entre les IHM, le design et l'ergonomie touche divers domaines et contextes : apprentissage, travail, loisir récréatif et culturel. Les recherches sur l'expérience utilisateur se confondent dans une vaste variété de méthodologies, de contextes et d'outils de recueil de données (Bargas-avila et Hornbæk, 2011). Le qualitatif est cependant privilégié ; ce qui laisse le quantitatif (c.-à-d. la prise de mesure objective) et notamment la capture du mouvement moins utilisé.

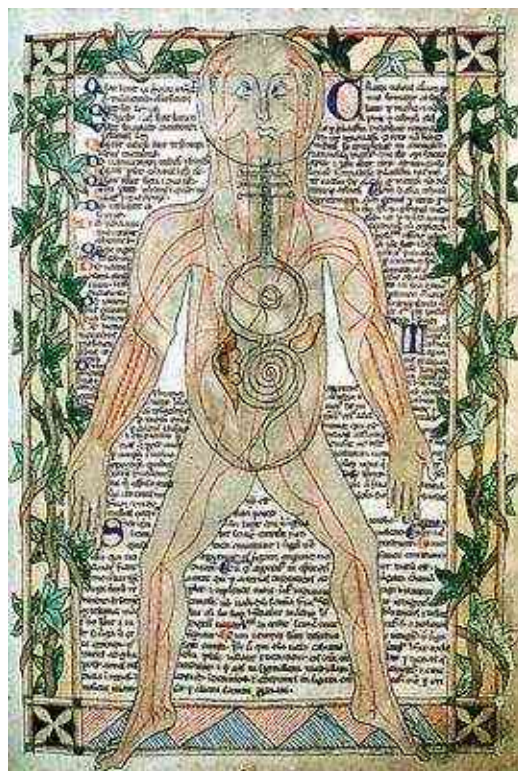
Je propose au moyen de deux installations interactives (Tout passe et Sphaera) créées et exposées dans différents lieux de collecter et d'explorer (c.-à-d. études pilotes) des réactions motrices de visiteurs (c.-à-d. participant) en fonction du game play (c.-à-d. conditions expérimentales).

« Tout passe » puis « Sphaera » seront présentées. Conclusion générale qui traitera des perspectives futures terminera ce chapitre.

TOUT PASSE

QUELQUES MOTS SUR L'INSTALLATION

Le choix de Tout passe vient des fausses connaissances sur la circulation sanguine. Depuis l'antiquité, la représentation qu'en fait Galien entretient la fiction que le sang, généré par le foie en consommation des aliments, traverse le corps en passant des ventricules du cœur pour fini dans la transpiration ou le sang s'évapore enfin. Elle retarde la compréhension de la circulation jusqu'au 17^e siècle. Il est alors encore d'usage de saigner les malades afin de rééquilibrer le sang, l'un des quatre fluides principaux de la théorie des humeurs. Il a fallu attendre William Harvey (1628) pour établir la 1^{re} description complète de la circulation sanguine. Le sang ne passe plus à travers le corps, il circule dans le corps.



**FIGURE 1 : CIRCULATION SANGUINE ISSUE D'UN
OUVRAGE MEDIEVAL DE MEDECINE (THE BODLEIAN
LIBRARY, OXFORD UNIVERSITY)**

« Tout passe » met en relation la théorie du « Proteus effect » (Yee et Bailenson, 2007) et la variabilité du mouvement. L'objet d'étude et la question de recherche m'ont mené à créer un protocole exploratoire où l'on mesurait les effets d'un cœur virtuel battant à différentes pulsations sur les mouvements des visiteurs.

Le proteus effect, étudié récemment, décrit le phénomène associé à un changement de comportement d'une personne bien réelle au profit de son double virtuel (Yee et coll. 2009). Changer les comportements addictifs, favoriser la perte de poids, encourager les comportements prosociaux (Rosenberg et coll. 2013), réduire les préjugés raciaux : les possibilités sont nombreuses.

LE BINÔME

« A œuvré ensemble pour la cohérence de l'installation, c'est challengé, à aider, à interagit. »

Binôme scientifique: Focone Florian. A codé le programme C++ gérant l'interaction, conçu les formes 3D des avatars, du cœur, de la pièce sous Blender et géré leur intégration dans Irrlicht (moteur de rendu), a traité et interprété les résultats.

Binôme artistique: Julien Kozlowski et Ismail Konate de DDA¹ ont créé la scénographie (le cœur, pièce où rentraient les participants) (Photo 1).

Sous la direction de Xavier Maitre [IR4m] et Michèle Gouiffès [LIMSI].



FIGURE 2 : L'EXTERIEUR DE TOUT PASSE POUR LE FESTIVAL CURIOSITAS 2014 DANS SCIENCES-ACO, L'ANCIEN ACCELERATEUR DE PARTICULES.



FIGURE 3 : L'INTERIEUR DE TOUT PASSE POUR LE FESTIVAL CURIOSITAS 2014 DANS SCIENCES-ACO, L'ANCIEN ACCELERATEUR DE PARTICULES.

EXPLORER LES POSSIBILITES

Hypothèse : la fréquence de battement du cœur du double virtuel influence la quantité de mouvement chez les participants.

Protocole

Une étude a été menée pendant la fête de la science 2014 au gymnase du Moulon, à Orsay. 39 participants ont été recrutés et répartis en trois groupes. Pour chaque participant de chacun des groupes, les instructions étaient les mêmes : explorer l'installation pendant 1 minute. Ceci consistait à interagir librement avec le personnage virtuel. Le personnage virtuel affichait les mêmes mouvements que la personne (en miroir), il était translucide et au milieu de son torse battait un cœur selon trois conditions : - 20 pulsations/minutes (FC 20), - 60 pulsations/minute (FC 60) - 180 pulsations/minute (FC 180). Un bruit de battement était également perçu par les participants à chaque fois que le cœur faisait un cycle diastole/systole. Aucune autre consigne n'était donnée. Un groupe a été assigné à une condition. Une KINECT 2 permettait d'animer/enregistrer le personnage virtuel en

captant les mouvements des participants (poignets, coudes, cou, colonne, hanches, genoux et chevilles. Ceci permettait de calculer la moyenne de la ST de l'énergie (Voir équation Chapitre III).

Résultats

Les valeurs ont été transformées en Zscore. Un effet significatif à .027 de la condition $F(2,36)=3.98$ est mis en avant. Les tests post-hoc avec ajustement de Bonferonni révèlent que la condition FC180 est significativement différente de la condition FC20 et FC60 respectivement .041 et .045. Les conditions FC20 et FC60 sont quasiment identiques

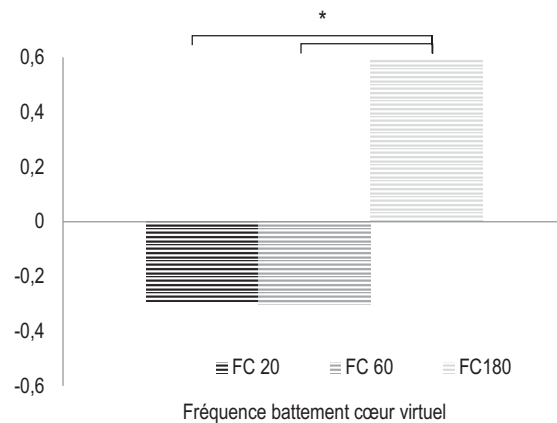


FIGURE 4 : ZSCORE DE L'ENERGIE EN FONCTION DES CONDITIONS.

Conclusion

La condition FC 180, qui est semblable à une tachycardie, amène les participants à plus se mouvoir tandis que les conditions FC 60 (normal) et FC 20 (bradycardie) ont un effet identique. Les informations perceptives visuelles et auditives sont fusionnées et intégrées pendant la prise d'informations. On se demandera quelles informations sont prépondérantes dans la variation (son du battement ou battement visuel du cœur). La grande variabilité interindividuelle devrait également être maîtrisée par un questionnaire de « Self-Identification - Embodiment » (s'identifier ou non à l'avatar).

Ces résultats mettent en perspective l'intérêt d'utiliser les feedbacks physiologiques dans les applications où les mouvements des participants/joueurs sont au centre de l'interaction et du jugement.

Sphaera

QUELQUES MOTS SUR L'INSTALLATION

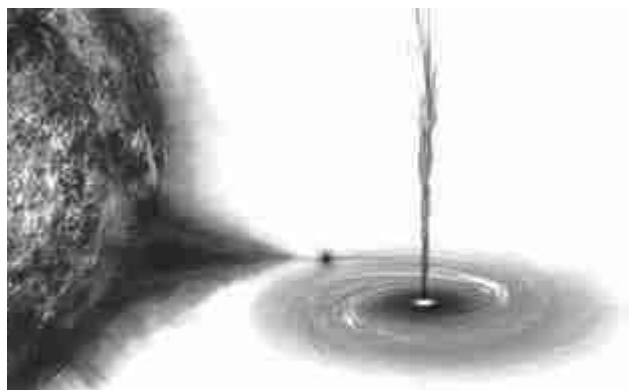


FIGURE 5 : ILLUSTRATION D'ARTISTE DU SYSTEME BINAIRE CYGNUS X-1

(<http://chandra.harvard.edu/photo/2011/cygx1/>)

Cygnus X-1 a été découvert en 1964 à 6000 années-lumière de la terre. C'est un trou noir stellaire. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, les trous noirs ne sont pas des trous, mais bien des volumes sphériques (Sphère vient du latin Sphaera). Cygnus X.1 fait 60km de circonférence et pourtant il contient au moins 10 fois la masse du soleil.

Cette densité extrême produit un champ gravitationnel tellement fort qu'il distord de manière spectaculaire l'espace-temps. Passé une certaine zone (appelée horizon des événements) la lumière ne pourra plus s'en extraire

Le projet s'inspire de cet environnement méconnu comme outil métaphorique et support pour l'interaction, représentant tour à tour une version artistique de la lumière et d'un trou noir dans un espace-temps graphique. Le questionnement scientifique se situe quant à lui dans le domaine de l'interaction homme-machine et porte sur l'impact sensoriel de la couleur. Depuis plusieurs dizaines d'années investigué (Whitfield et Whiltshire, 1990), l'impact de la couleur dans la perception du goût, de l'odorat et sur l'humeur (Delwiche, 2004 ; Shimbun, 2008) est un domaine de recherche prospère. L'importance de la couleur sur l'état psychique est telle, que les scientifiques en viennent à s'intéresser à ses bienfaits possibles « colour therapy » (O'Connor, 2011). L'impact de la couleur sur les mouvements des visiteurs sera étudié dans un protocole libre.

LE BINOME

« A réfléchi et s'est confronté sur les visions de l'installation et ses messages transmis. »

Binôme scientifique: Focone Florian a codé le programme C++ et le programme microcontrôleur Arduino gérant l'interaction, a intégré dans Irrlicht (moteur de rendu) les formes et les textures, a imaginé le game play.

Binôme artistique: Volmar Manuel, Designer global indépendant. A Créé la structure - trou noir organique.

Le programme (1) reçoit des données de la KINECT. Une carte Arduino UNO (2) interface l'ordinateur et l'objet lumineux qui s'illumine dans une vaste gamme de couleurs (rouge à violet) en fonction du game-play (4). Le vidéoprojecteur (3) rétro projette l'interaction entre les visiteurs et le trou noir dans l'environnement.

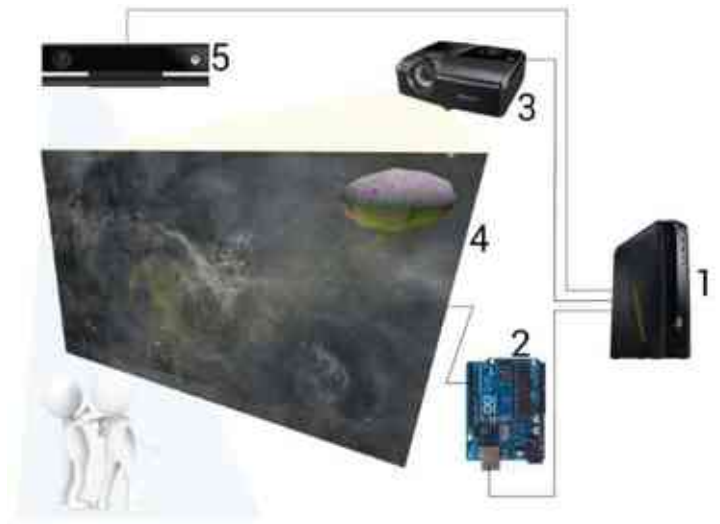


FIGURE 6 : PLAN TECHNIQUE DE L'INSTALLATION

EXPLORER LES POSSIBILITES

Hypothèse : la couleur affichée par l'œuvre influence l'approche et l'évitement ainsi que les mouvements des interactants.



FIGURE 7 : L'INSTALLATION POUR LE FESTIVAL CURIOSITAS 2015 : DU 24 AU 29 SEPTEMBRE AU CHATEAU DE GIF-SUR-YVETTE.

Protocole

Le programme permet d'enregistrer les mouvements et les positions des participants qui interagissent avec l'œuvre librement. Comme pour l'installation précédente Aucune limite n'a été donnée au protocole. Pendant quatre jours, les données de tous les visiteurs ont été enregistrées. Les données où au moins 18 membres du squelette KINECT étaient captés ont été gardées. La variable indépendante était la couleur qui animait l'objet de l'artiste (figure 6) en fonction du game play. Un algorithme permettait de faire varier un bandeau de DEL RGB du rouge au violet en fonction du nombre de participants et de leur proximité avec le trou noir et donc du nombre de particules absorbées.

Résultats

La figure 7 suivante montre l'évolution de l'énergie des membres supérieurs (mains) en fonction de la couleur affichée par le trou noir. Chaque point (600000 ici) représente une mesure (image). Mis bout à bout, le total présenté dans ce graphique est d'environ 6h d'enregistrement. La ligne épaisse correspond à la moyenne quadratique de chaque valeur de couleur (exemple : 1 = rouge pur - code RGB (255, 0, 0)).

Si l'on enlève les « effets de bord » et que l'on regarde entre une valeur de 10 (rouge) et 160 (bleu), on remarque une légère tendance des participants à animer leurs membres supérieurs à mesure que le trou noir affiche des couleurs bleues.

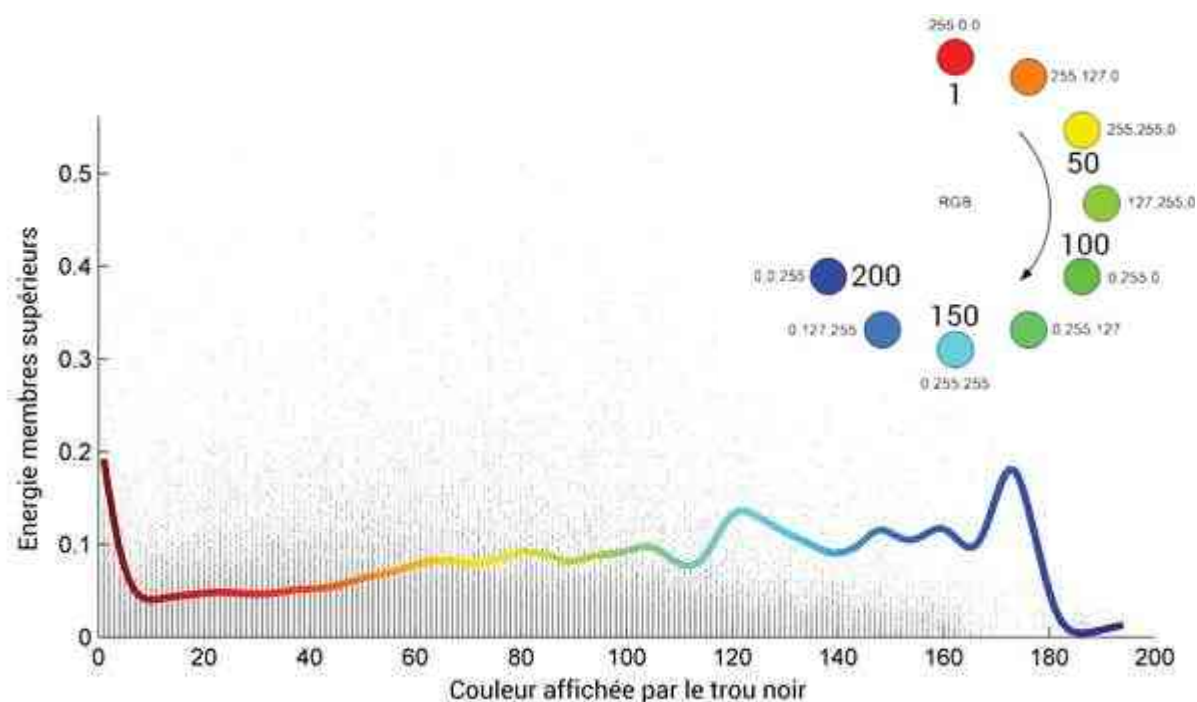


FIGURE 8 : ENERGIE DES MEMBRES SUPERIEURS EN FONCTION DE LA COULEUR AFFICHEE PAR LE TROU NOIR.

Conclusions

L'expérience a tournée 4 jours, après un nettoyage des données, il restait quatre heures d'enregistrements. Il semblerait, sans pour autant que cela soit flagrant, qu'il existe une relation entre la couleur affichée par le trou noir et le mouvement des visiteurs. Ceux-ci auraient tendance à plus se mouvoir lorsque la couleur tend vers le bleu. La couleur dans les applications interactives pourrait amener les visiteurs à plus ou moins interagir avec celle-ci. Une porte ouverte vers des études nouvelles plaçant la couleur, le mouvement et l'interaction au centre des questionnements.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES GENERALES

Les installations interactives mélangeant arts et sciences sont un moyen nouveau de récolter des données et de faire de la recherche. Elles peuvent être tout aussi bien exploratoires que confirmatoires. J'ai préféré ne donner aucune limite à mes protocoles dans le but de trancher avec la mesure en laboratoire et d'être plus proche de l'humain. Après tout, les grandes découvertes sont souvent faites par hasard...

Mes installations questionnent les relations entre l'interactivité et l'expérience sensorielle. Aucune découverte majeure n'a été faite ; mais des pistes intéressantes restent à explorer.

L'Art/Science est un « buzz Word » et est actuel (pour ne pas dire : « trendy »). Les raisons des chercheurs pour entreprendre de tel projet sont nombreuses. Pour ma part, j'ai souhaité mettre à profit mes quelques connaissances techniques et mon envie insatiable de création au service du dialogue Science - Société. En contrepartie du temps que cela m'a pris ; j'ai appris des difficultés, évolué au travers des retours et divers points de vue de mes partenaires - du public, et surtout, bien rit.

De mon point de vue, un chercheur est avant tout une personne curieuse et autodidacte, qui se base sur l'essai et l'échec, et qui ne bride pas son sens de l'observation pour une « deadline », un journal ou un résultat statistique. L'Art/Science aura été ce voisin, avec lequel j'ai trouvé une façon comparable de penser.

BIBLIOGRAPHIE

- Bargas-avila, J. A., & Hornbæk, K. (2011). Old wine in new bottles or novel challenges? A critical analysis of empirical studies of user experience. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*.
- Delwiche, J. (2004). The impact of perceptual interactions on perceived flavor. *Food Qual. Pref*, 15, 137–146.
- Morrison, A. J., Mitchell, P., & Brereton, M. (2007). The Lens of Ludic Engagement: Evaluating Participation in Interactive Art Installations. In *Proceedings of the 15th International Conference on Multimedia* (pp. 509–512). New York, NY, USA: ACM.
- O'Connor, Z. (2011). Colour psychology and colour therapy: Caveat emptor. *Color Research & Application*, 36(3), 229–234. <http://doi.org/10.1002/col.20597>
- Rosenberg, R. S., Baughman, S. L., & Bailenson, J. N. (2013). Virtual Superheroes: Using Superpowers in Virtual Reality to Encourage Prosocial Behavior. *PLoS ONE*, 8(1), e55003.
- Shimbun, T. Y. (2008). Blue streetlights believed to prevent suicides, street crime. Retrieved from <http://www.seattletimes.com/nation-world/blue-streetlights-believed-to-prevent-suicides-street-crime/>
- whiltfield, T. W., & Whiltshire, T. J. (1990). Color psychology: A critical review. *Genetic, Social, and General Psychology Monographs*, 116(4), 385–411.
- Yee, N., & Bailenson, J. (2007). The Proteus Effect: The Effect of Transformed Self-Representation on Behavior. *Human Communication Research*, 33(3), 271–290.
- 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.