

Évaluation et remédiation de la production des expressions faciales chez l'enfant TSA : projet JEMImE

Fanny Hamel, Estelle Juillet

► **To cite this version:**

Fanny Hamel, Estelle Juillet. Évaluation et remédiation de la production des expressions faciales chez l'enfant TSA : projet JEMImE. Sciences cognitives. 2018. dumas-02104084

HAL Id: dumas-02104084

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02104084>

Submitted on 19 Apr 2019

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

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



ACADEMIE DE PARIS

SORBONNE UNIVERSITE

MEMOIRE POUR LE CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE
**EVALUATION ET REMÉDIATION DE LA PRODUCTION DES
EXPRESSIONS FACIALES CHEZ L'ENFANT TSA : PROJET JEMIME**

Directrice de mémoire : CHARLINE GROSSARD

2017/2018

HAMEL

FANNY

JUILLET

ESTELLE

Remerciements

Nous souhaitons adresser nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué d'une façon ou d'une autre à l'élaboration de notre mémoire.

En premier lieu, nous tenons tout particulièrement à remercier **Madame Charline Grossard**, notre Directrice de mémoire, qui nous a accueillies au sein de son projet de thèse et qui nous a encadrées et guidées avec une énergie et une réactivité incroyables dans notre travail.

Nous souhaitons également remercier le **Professeur David Cohen** qui a accepté que l'on participe au projet qu'il supervise.

Nous remercions l'équipe de **l'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR)** ainsi que l'ensemble des **ingénieurs de Genious** pour avoir développé ce joli projet qu'est JEMImE.

Nous souhaitons remercier également toute l'**équipe de Nice**, pour leur accueil au sein du projet mais également pour leur collaboration, sans qui nous n'aurions pu récolter autant de données et de bonnes idées.

Nous souhaitons également remercier **Hugues Pellerin**, pour nous avoir aidées à réaliser nos analyses statistiques avec beaucoup de patience et d'attention.

Nos vifs remerciements vont également à **Monsieur Antoine Tanet**, qui a accepté d'être notre rapporteur et de relire l'ensemble de notre mémoire.

Un grand merci également à **Claire Léger**, une ancienne maître de stage, qui nous a parlé de JEMImE et sans qui nous n'aurions sans doute jamais rejoint ce projet.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à **toutes les familles et enfants** ayant accepté de faire partie de cette étude.

Enfin, nous remercions nos amies **Marie-Reine Lemarchand, Marine Salomon, Laura Diday** ainsi qu'**Alan, Simon, Georgy** et l'ensemble de nos proches pour leur soutien lors de cette dernière année d'étude.

Engagement de non plagiat :

Je soussignée Fanny Hamel, déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'Internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Je soussignée Estelle Juillet, déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'Internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

EVALUATION ET REMÉDIATION DE LA PRODUCTION DES EXPRESSIONS FACIALES CHEZ L'ENFANT TSA : PROJET JEMIME

Mots-clés

Troubles du Spectre Autistique - Jeu Sérieux - Production d'Expressions Faciales - Émotions

Key Words

Autism Spectrum Disorder - Serious Games - Facial expressions - Emotion production - Mimicry

Résumé

Les enfants avec Trouble du Spectre de l'Autisme (TSA) produisent des expressions faciales (EF) souvent jugées étranges. Pour autant, peu d'études s'intéressent aux facteurs pouvant influencer leurs productions.

Trente-six enfants avec TSA, âgés de 6 à 12 ans, ont été évalués en train de produire sur demande des EF correspondant à la joie, la tristesse, la colère et la neutralité. Ainsi, la qualité des productions des EF apparaît meilleure en tâche de mime qu'en tâche d'imitation et les EF renvoyant à la neutralité et à la joie sont celles significativement les mieux produites, viennent ensuite la colère et la tristesse. Aucun effet significatif n'a été retrouvé concernant l'influence de l'âge ou du genre des enfants sur la qualité des productions.

L'utilisation des jeux sérieux pour travailler les habiletés sociales se développe actuellement. Vingt-six des enfants avec TSA sont revenus afin de tester le jeu sérieux JEMImE, conçu pour apprendre aux enfants avec TSA à produire des EF correctes en termes de qualité et d'adaptabilité en contexte. Pendant le jeu, il apparaît que les enfants produisent également mieux la joie et la colère que la tristesse. Un effet d'apprentissage lié à l'entraînement par le jeu est également objectivé par des performances qui s'améliorent au cours du temps.

A travers les réponses aux questionnaires proposés en fin de jeu et les commentaires spontanés des enfants recueillis, il ressort que JEMImE semble être un support de travail ergonomique très plaisant, qui permet de s'exercer à la production d'EF de bonne qualité, de façon précise et ludique.

Abstract

Children with Autism Spectrum Disorder (ASD) often produce facial expressions (FE) judged to be awkward. Very few studies have investigated factors influencing these expressions.

Thirty-six ASD children, from 6 to 12 years old, were asked to produce FE corresponding to joy, sadness, anger and neutrality. It appears that the quality of the expressions in mime tasks were better than in imitation tasks. Also, FE referring to neutrality and joy are significantly better expressed than anger and sadness. Neither age nor gender had a significant effect on the FE's quality.

The use of serious games to enhance social skills is currently developing. Out of the thirty-six children, twenty-six came back to test the serious game JEMImE. It was designed to teach ASD children to produce correct FE focusing on the quality and context adaptation. While playing, joy and anger were still better expressed than sadness. As performances improved over time, we were able to identify a learning effect related to game training. After reviewing children's answers from a questionnaire at the end of the game and with their spontaneous comments, it appears that JEMImE is a very pleasant ergonomic approach. It allows a high quality practice of FE production in a precise and playful way.

Introduction

Les expressions faciales (EF) sont des signaux visuels qui nous permettent de comprendre et de transmettre des intentions et des émotions et ainsi d'adapter nos comportements en fonction du contexte social (Dunn, 2003; Izard, 2001). Pourtant l'enfant avec TSA produit et interprète difficilement ces signaux (Gordon, Pierce, Bartlett, & Tanaka, 2014). En effet, d'après le DSM-V, les troubles du spectre autistique (TSA) sont des troubles neurodéveloppementaux qui se caractérisent entre autres, par un déficit de la communication et des interactions sociales, touchant notamment la production des émotions ressenties.

Peu d'études se sont intéressées à la production des EF chez les enfants avec TSA. Néanmoins, quelques facteurs pouvant les influencer sont retrouvés chez cette population comme le type d'émotion, la joie étant qualitativement mieux réussie que les autres émotions (colère, tristesse) (Gordon et al, 2014; Volker et al, 2009). Également, la présentation d'un modèle ne serait pas une aide à la production (Loveland et al. 1994). Enfin, la présence d'un retour visuel leur permettrait d'améliorer la qualité de leurs productions (Langdell, 1981). Par ailleurs, il ressort de la littérature qu'une observation seulement quantitative des EF des enfants avec TSA est insuffisante pour mettre en avant leur déficit, les EF produites par des individus avec TSA ne semblant pas toujours réduites mais étant fréquemment qualifiées d'« inhabituelles », de « plus bizarres » ou « plus atypiques » que celles produites par les personnes neurotypiques (Grossman et al., 2013; Volker et al. 2009). Cela contribuerait à détériorer leur image sociale et affecterait par conséquent leurs interactions (Stagg, Slavny, Hand, Cardoso, & Smith, 2014). L'amélioration de la qualité des EF semble donc être un axe indispensable à travailler en rééducation avec ces patients, afin de favoriser leur intégration sociale.

Dernièrement, l'utilisation de Jeux Sérieux (JS) en vue de développer les capacités d'interaction des personnes avec TSA est très explorée (Durkin, 2010). Ils sembleraient particulièrement adaptés par leur présentation séquentielle structurée et rassurante ainsi que par leur modalité visuelle privilégiée, réputée pour être bien investie par l'enfant avec TSA (Quill, 1997). En outre, les supports numériques permettent de recréer des mondes virtuels proches de la réalité tout en maintenant l'enfant dans un cadre protégé. Ils permettent de mettre en scène des situations sociales difficiles à recréer dans un cadre de prise en charge classique. Parmi les JS existant, de nombreux visent à développer la compréhension des émotions d'autrui, comme le jeu sérieux JeStiMule (Serret et al., 2014), mais peu permettent d'améliorer la qualité de la production des émotions. Ainsi, le jeu sérieux

JEMImE a été conçu pour apprendre aux enfants avec TSA à produire des EF correctes en termes de qualité et d'adaptabilité en contexte pour les émotions de joie, colère et tristesse. Il a la particularité d'apporter un feedback en temps réel sur l'EF produite, grâce à un algorithme de reconnaissance faciale spécialement développé pour ce projet (Grossard et al., 2017b).

Il est question, à travers cette étude qui s'inscrit dans la continuité du projet JEMImE (Grossard et al., 2017b), de rendre compte d'un triple objectif. Tout d'abord, nous analyserons la qualité des productions volontaires d'EF d'enfants avec TSA âgés de 6 à 12 ans afin d'évaluer l'influence de plusieurs facteurs sur celles-ci tels l'âge, le sexe, l'émotion, le type de tâche et la modalité. Pour se faire, le protocole utilisé par l'équipe de Grossard et al. (2017c) chez les enfants tout-venants sera repris. Ensuite, nous comparerons ces productions avec celles réalisées pendant la session de jeu des enfants, évaluées cette fois-ci par le système de reconnaissance faciale de JEMImE. Ainsi, nous émettons l'hypothèse que nous retrouverons les mêmes effets et tendances pendant le jeu que lors de la passation du premier protocole. Enfin, il s'agira de recueillir les avis, conseils et ressentis des enfants concernant ce nouveau support de travail afin de mettre en évidence sa pertinence au niveau de son ergonomie, son aspect visuel et de la satisfaction qu'il peut susciter.

Méthode

Evaluation de la qualité des expressions faciales volontaires chez les enfants avec TSA par des juges humains

Participants

Trente-six enfants volontaires âgés de 6 à 12 ans ont participé à cette étude. Tous présentent un TSA (diagnostic posé avec l'ADI ou l'ADOS) sans déficience intellectuelle associée ($QI > 70$) (tableau 1). 56% de ces enfants ont été recrutés à Nice (20 enfants) et 44% à Paris (16 enfants). Neuf d'entre eux sont des filles. Les consentements des enfants et des parents ont été récupérés au préalable. Cette étude a été approuvée par le Comité d'Ethique de l'Université de Nice sous le numéro 15-HPNCL-02.

| Tableau 1 : Critères d'inclusion et d'exclusion de la population | |
|---|---|
| Critères d'inclusion | Critères de non-inclusion |
| Un diagnostic d'autisme et TED établi selon les critères du DSM IV à l'aide des échelles (ADI et/ou ADOS) | Sujets n'ayant pas le diagnostic d'autisme ou de TED |
| QI \geq 70 (WISC IV) | Sujets ayant un QI < 70 (WISC IV) |
| Sujets âgés de 6 à 12 ans | Sujets de moins de 6 ans et de plus de 12 ans |
| Sujets et les titulaires de l'autorité parentale ayant donné leur consentement éclairé et écrit | Sujets n'ayant pas donné leur consentement éclairé et écrit ainsi que celui de l'autorité parentale |
| Sujets affiliés à la sécurité sociale | Sujets non affiliés à la sécurité sociale |

Procédure

Le protocole est le même que celui de l'étude de Grossard et al. (2017c). L'enfant est placé devant un ordinateur qui lui propose des EF à réaliser. Chacune de ses productions est filmée. Chaque enfant doit alors produire 4 EF différentes (expression neutre, joie, tristesse et colère) lors d'une tâche d'imitation et lors d'une tâche de production sur demande appelée tâche de mime. Les deux tâches sont d'abord présentées en modalité visuelle puis en modalité audiovisuelle. L'ordre de présentation des deux tâches est aléatoire dans chaque modalité, afin d'éviter tout effet d'apprentissage. Ainsi 4 ordres ont été proposés aléatoirement (tableau 2):

| Tableau 2 : Description des 4 ordres de présentation | | | | |
|--|-------------------|-----------|------------------------|-----------|
| | Modalité visuelle | | Modalité audiovisuelle | |
| ordre 1 | imitation | mime | imitation | mime |
| ordre 2 | mime | imitation | imitation | mime |
| ordre 3 | imitation | mime | mime | imitation |
| ordre 4 | mime | imitation | mime | imitation |

Pour la tâche d'imitation, un avatar produisant l'expression faciale attendue est présenté à l'enfant, qu'il doit imiter sur consigne de l'adulte : « Fais pareil avec ta tête ». Chaque émotion est produite 2 fois à partir de 2 avatars de sexes différents. Pour la tâche de production sur demande, le nom d'une émotion s'affiche à l'écran et est accompagné d'une consigne orale de l'adulte : « Montre-moi comment tu fais [nom de l'émotion] ». L'enfant doit alors produire l'EF sans modèle. Chaque émotion est proposée une fois à l'enfant. Ainsi, 24 vidéos par enfant sont récoltées.

Annotation

Afin d'analyser la qualité des EF produites par les enfants avec TSA, les 864 vidéos récoltées sont toutes annotées à l'aveugle par 3 juges indépendants. Ces annotateurs doivent non seulement reconnaître l'émotion liée à l'EF produite, mais également juger de son degré de crédibilité à l'aide d'une échelle de cotation validée dans une précédente étude (Grossard et al, 2017c). L'échelle utilisée consiste en un continuum de cotation allant de 0 à 10 (0 = pas de reconnaissance de l'EF, 5 = reconnaissance sans crédibilité, 10 = reconnaissance et excellente crédibilité de l'émotion produite). Pour chaque vidéo, c'est-à-dire pour chaque production d'EF, le juge établit un score entre 0 et 10 sur l'échelle correspondant à l'émotion attendue, mais également sur les 3 échelles correspondant aux 3 autres émotions proposées dans le protocole. Ainsi, pour chaque émotion attendue, 4 scores sont obtenus. Ce système de cotation permet d'indiquer d'éventuelles confusions entre les émotions, ou de mettre en avant des productions ambiguës faites de mélanges d'émotions.

Production des EF dans le cadre du jeu JEMImE et évaluation de leur qualité par l'algorithme de reconnaissance automatique intégré au jeu

Participants et procédure

Un an et demi après la passation du protocole, les enfants sont de nouveau convoqués afin de tester le prototype de JEMImE (Grossard et al., 2017b). Sur les 36 enfants précédemment rencontrés, 26 enfants sont venus jouer. Deux d'entre eux ont été exclus de l'étude : l'un apparaissait trop âgé et l'autre a rencontré des soucis techniques lors de sa session de jeu, qui ont constitué un biais pour les résultats. Cette nouvelle population est ainsi composée de 18 garçons (75% des enfants) et de 6 filles (25% des enfants) d'origine niçoise (n=13) et parisienne (n=11). La session de jeu dure environ 1h15. Elle est menée par deux thérapeutes. L'un des thérapeutes a pour rôle d'accompagner l'enfant en lui expliquant le fonctionnement du jeu. Le second va observer la manière de jouer de l'enfant en recueillant des données à la fois sur ses performances et sur sa façon d'appréhender le jeu.

Fonctionnement du jeu JEMImE

Tout au long du jeu, la qualité des EF produites par l'enfant est évaluée par un algorithme de reconnaissance d'expressions faciales. Ce dernier a été spécialement entraîné sur une base de données vidéographiques d'EF d'enfants typiques récoltées lors

d'un travail préliminaire (Grossard et al., 2017a). L'enfant peut également profiter d'un retour visuel en temps réel de sa production (principe d'un miroir à l'écran) représentée par un système de jauges indiquant la qualité de l'expression faciale produite (image 1).



Image 1 : Production de la colère et de la joie lors de la phase « apprentissage » de JEMImE

Le jeu se déroule en 3 parties :

- La création d'un avatar est proposée à l'enfant avant de commencer à jouer. L'enfant a la possibilité de choisir un avatar préconçu, ou de personnaliser plusieurs éléments de son personnage : couleur de peau, de cheveux, accessoires (lunettes, casquette, sac à dos) et vêtements (t-shirt, pantalon) (image 2). Il choisit également son compagnon qui le guidera pendant le jeu : un monstre ou un robot. S'il le veut, un pseudonyme de son choix pourra être attribué à son personnage.



Image 2 : Personnalisation de l'avatar

- La phase « apprentissage » a pour objectif d'apprendre aux enfants à produire des EF (joie, colère, tristesse) de bonne qualité sous la forme de 4 mini-jeux. Lors de cette phase, deux tâches sont entraînées : l'imitation (production des EF à partir d'un avatar en 3D) et le mime (production des EF sur consigne écrite et orale, sans modèle). Précisons que lors de la tâche d'imitation, l'avatar produisant les EF à imiter est toujours accompagné d'un son : la présentation est systématiquement audiovisuelle. Chacune de ces deux tâches est proposée sans contexte puis avec. Le

contexte correspond à une image illustrant une situation pouvant susciter une émotion ciblée. Par exemple, l'image d'un cadeau reçu à Noël induira de la joie. Ainsi, 4 mini-jeux sont proposés à l'enfant toujours dans l'ordre suivant : imitation sans contexte, mime sans contexte, imitation avec contexte et mime avec contexte. Dans tous les cas, l'enfant doit produire l'EF attendue dans un temps imparti visuellement modélisé. Dès qu'il réussit, il reçoit une pièce. A la fin de chaque mini-jeu, il peut collecter les pièces qu'il a gagnées dans son porte-monnaie virtuel.

- La partie « entraînement » a pour objectif de mettre en pratique les apprentissages précédemment réalisés, dans un contexte plus écologique. L'enfant explore une ville virtuelle dans laquelle il rencontre des avatars. Lorsque l'enfant s'en approche, il active des scénarii sociaux auxquels il doit répondre par des EF adaptées afin de gagner des pièces. S'il est en difficulté, l'enfant reçoit de l'aide de la part de son compagnon. Chaque scénario présente une version positive et une version négative afin d'éviter que l'enfant associe une émotion à une situation de façon plaquée (Annexe A). Des bonbons sont également répartis à divers endroits de la ville afin de motiver l'exploration de l'enfant. Pour gagner la partie, il doit récupérer les 10 bonbons et obtenir les 6 pièces.

Nous nous intéresserons particulièrement dans cette étude à la première phase du jeu nommée « apprentissage », compte tenu de sa similarité avec le premier protocole entrepris. Ainsi, nous pourrons comparer la qualité des EF des enfants TSA évaluée par des juges humains et par le système de reconnaissance de JEMImE.

JEMImE comme outil de remédiation : appréciation de l'ergonomie, de l'aspect visuel et de la satisfaction générale des enfants

Afin d'obtenir un premier retour qualitatif sur le jeu JEMImE, un questionnaire portant sur l'ergonomie, l'aspect visuel du jeu, et le plaisir à jouer est rempli par l'enfant. Les questions abordées concernent la création de l'avatar et le choix du compagnon, la phase d'apprentissage, la phase d'entraînement et l'appréciation globale du jeu. Pour chacune des questions posées, l'enfant doit choisir entre 4 réponses présentées à l'écrit « pas du tout d'accord, pas tout à fait d'accord, plutôt d'accord, tout à fait d'accord » chacune associée à un smiley (Annexe B).

Résultats

Analyse multivariée : Evaluation de la qualité des expressions faciales volontaires chez les enfants avec TSA par des juges humains

Les effets de différents facteurs sur le score obtenu à l'échelle de qualité des EF ont été évalués grâce à une analyse multivariée. Les variables dépendantes correspondent à l'âge, au genre, à l'émotion à produire (neutralité, joie, colère, tristesse), au type de tâche (imitation ou mime), à l'ordre de présentation des tâches (1, 2, 3 ou 4) et à la modalité (visuelle ou audiovisuelle). Les statistiques ont été réalisées avec le logiciel R grâce à un modèle mixte formulé ainsi : score ~ scolarité + genre + ordre de passation + tâche + modalité + émotion attendue + ville + groupe + (1 | numéro de l'enfant).

| Tableau 3. Effets de l'âge, du genre, de la modalité, de l'ordre de présentation, du type de tâche et de l'émotion sur la qualité de la production des EF des enfants avec TSA : résultats issus du modèle mixte | | | |
|--|---------------------|-----------------|--------|
| Variable | Coefficient β | Erreur standard | p |
| Âge | 0.065 | 0.037 | 0.084 |
| Genre (garçons vs filles) | -0.004 | 0.114 | 0.974 |
| Ordre (2 vs. ordre 1) | -0.069 | 0.15 | 0.644 |
| Ordre (3 vs. ordre 1) | -0.089 | 0.155 | 0.565 |
| Ordre (4 vs. ordre 1) | -0.046 | 0.148 | 0.759 |
| Modalité (visuelle vs audiovisuelle) | 0.106 | 0.068 | 0.122 |
| Type de tâche (mime vs imitation) | 0.535 | 0.074 | <0.001 |
| Émotion (joie vs tristesse) | 1.452 | 0.097 | <0.001 |
| Émotion (neutre vs tristesse) | 1.63 | 0.099 | <0.001 |
| Émotion (colère vs tristesse) | 0.859 | 0.09 | <0.001 |
| Émotion (joie vs colère) | 0.93 | 0.23 | <0.001 |
| Émotion (joie vs neutre) | 0.13 | 0.25 | 0.60 |
| Émotion (neutre vs colère) | 0.80 | 0.23 | <0.001 |

Le tableau 3 montre les effets de l'âge, du genre, de la modalité, de l'ordre de présentation, du type de tâche et de l'émotion sur la qualité de la production des EF des enfants avec TSA. L'analyse multivariée indique qu'il y a un effet significatif du type d'émotion sur la qualité de production des EF : la tristesse est significativement moins bien produite que la neutralité ($p < 0.001$), la joie ($p < 0.001$) ou la colère ($p < 0.001$). Il apparaît également que joie et la neutralité sont mieux réalisées que la colère ($p < 0.001$). Nous retrouvons également un effet significatif de la tâche demandée : les EF à mimer sont mieux réussies que les EF à imiter ($p < 0.001$). Il n'y a pas d'effet significatif retrouvé pour l'âge ($p = 0.084$) et le genre ($p = 0.974$) des participants, ni pour l'ordre de présentation des différentes tâches. La modalité n'influence pas non plus la qualité de production des EF des enfants ($p = 0.122$).

Analyse multivariée : Evaluation de la qualité des expressions faciales volontaires chez les enfants avec TSA par l'algorithme de reconnaissance automatique intégré au jeu

Nous avons voulu étudier l'impact de plusieurs facteurs sur le nombre de succès obtenus par les enfants lors de la phase d'apprentissage. Nos variables ne suivant pas une loi normale, nous avons réalisé un test du Chi2 pour des données non paramétriques dans le logiciel R formulé ainsi : `issue ~ Age + Sexe + Mini-jeu + Emotion + (1 | id_patient)`.

Tableau 4. Effets globaux de l'âge, du genre, du mini-jeu et de l'émotion sur la qualité de la production des EF des enfants avec TSA : résultats issus du test Chi2

| | Degré de liberté | AIC | LRT | p |
|-----------------|------------------|--------|---------|--------|
| Âge | 1 | 1170,8 | 1,891 | 0,169 |
| Genre | 1 | 1170,9 | 1,972 | 0,1603 |
| Mini-jeu | 3 | 1235,7 | 70,734 | <0,001 |
| Émotion | 2 | 1363,1 | 196,194 | <0,001 |

Nous ne retrouvons pas d'effet de l'âge ($p = 0.17$) ni d'effet du sexe ($p = 0.16$). En revanche nous retrouvons un effet global de l'émotion ($p < 0.001$) ainsi qu'un effet global du mini-jeu ($p < 0.001$).

Nous avons alors voulu comparer 2 à 2 chacune de nos modalités au sein des variables présentant un effet global. Pour cela, nous avons réalisé une analyse multivariée dans le logiciel R grâce à un modèle mixte avec la formule suivante : Succès ~ Age + Genre + Mini-jeu + Emotion + (1 | patient).

| Tableau 5. Effets de l'émotion et du mini-jeu (MJ) sur la qualité de la production des EF des enfants avec TSA : résultats issus du modèle mixte | | | |
|---|--------------------|------------------------|-----------|
| Variable | Coefficient | Erreur standard | p |
| Émotion (colère vs tristesse) | 2.0062174 | 0.1950075 | <0.001 |
| Émotion (joie vs tristesse) | 2.1805048 | 0.2042798 | <0.001 |
| Émotion (joie vs colère) | 0.1742769 | 0.2374355 | 0.4629506 |
| Mini-jeu (MJ1 vs MJ2) | 0.8124 | 0.194 | <0.001 |
| Mini-jeu (MJ1 vs MJ3) | 1.348 | 0.213 | <0.001 |
| Mini-jeu (MJ1 vs MJ4) | 1.6267691 | 0.2312563 | <0.001 |
| Mini-jeu (MJ2 vs MJ3) | 0.535 | 0.224 | 0.017 |
| Mini-jeu (MJ2 vs MJ4) | 0.814 | 0.241 | <0.001 |
| Mini-jeu (MJ3 vs MJ4) | 0.279 | 0.254 | 0.272 |

L'analyse multivariée montre qu'il y a un effet significatif du type d'émotion sur la qualité de production des EF : la joie est mieux réalisée que la tristesse ($p < 0.01$) et la colère est également mieux réalisée que la tristesse ($p < 0.001$). En revanche, nous ne retrouvons pas de différence significative entre la joie et la colère ($p = 0.46$).

JEMImE comme outil de remédiation : adaptation au jeu, appréciation de l'ergonomie, de l'aspect visuel et de la satisfaction générale des enfants

Adaptation au jeu

L'analyse statistique multivariée réalisée sur les résultats des enfants lors de la phase d'apprentissage du jeu à travers les 4 mini-jeux montre un effet significatif global de

l'apprentissage ($p < 0.001$) (tableau 4). Nous retrouvons un effet significatif entre les mini-jeux 1 et 2; 1 et 3; 1 et 4; 2 et 4 ($p < 0.01$) (tableau 5).

Appréciation de l'ergonomie, de l'aspect visuel et de la satisfaction générale des enfants

Il apparaît que 52,60% des enfants étaient « complètement d'accord » avec l'aspect visuel de JEMImE, 64,28% des enfants furent « complètement [en] accord » avec l'ergonomie et 59,09% des enfants furent complètement satisfaits par le jeu.

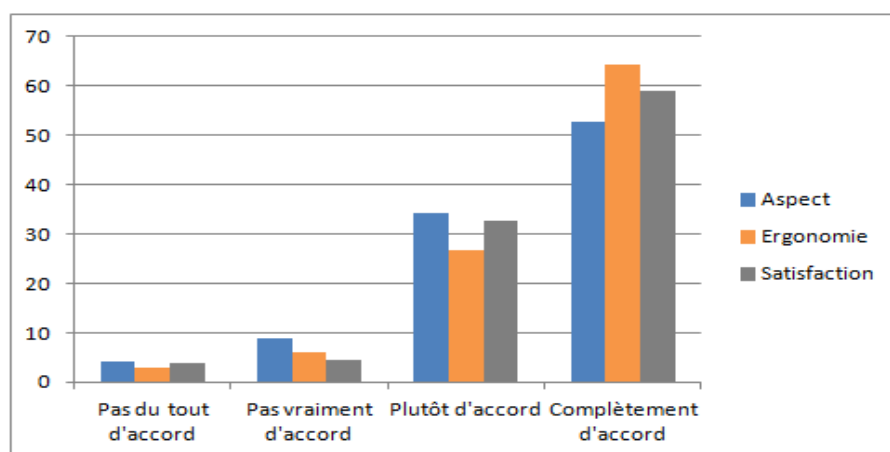


Figure 1 : Répartition (en %) des avis des enfants concernant les affirmations du questionnaire portant sur l'évaluation de l'aspect, de l'ergonomie et de la satisfaction générale

Discussion

Le but premier de cette étude était d'évaluer la qualité de la production volontaire d'EF des enfants avec TSA et de mettre en évidence différents facteurs pouvant les influencer. Nous sommes parties du postulat que leurs productions étaient soumises aux mêmes influences que celles retrouvées dans la littérature de l'enfant avec TSA. A partir des 864 vidéos des productions d'EF récoltées auprès des 36 enfants avec TSA, trois juges ont pu annoter chacune des productions selon une échelle évaluant la crédibilité de l'EF. Dans la littérature, beaucoup d'auteurs s'appuient sur des photographies d'enfants réalisant les différentes EF, ce qui réduit la qualité des informations à analyser. La richesse de cette étude repose sur l'évaluation des EF réalisée à partir d'un grand nombre de vidéos, permettant ainsi d'effectuer des analyses statistiques solides. A travers nos résultats, plusieurs facteurs influençant la production des EF des enfants avec TSA ont pu être mis en exergue.

Nous observons une influence du type d'émotion sur la qualité de production : Les EF renvoyant à la neutralité et à la joie apparaissent comme celles réalisées le plus précisément, viennent ensuite la colère et enfin la tristesse. Les productions d'EF pour l'émotion positive (joie) sont donc significativement mieux réussies que les émotions négatives (colère, tristesse) chez les enfants avec TSA, ce qui correspond à ce qui a pu être observé chez l'adulte avec TSA (Faso, Sasson, & Pinkham, 2015). La tristesse est donc moins bien réalisée que les autres émotions, ce qui rejoint de précédentes observations chez l'enfant avec TSA (Volker, Lopata, Smith, & Thomeer, 2009). Ces résultats concordent également avec ce qui peut s'observer chez les enfants typiques lors du même protocole (Grossard et al., 2017a). Sur le plan qualitatif, on observe chez les enfants avec TSA la présence d'EF ambiguës, intégrant un mélange de plusieurs émotions comme de la joie et de la tristesse, ce qui coïncide avec les observations de Yirmiya et al. (1989), qui ont montré chez les jeunes enfants avec TSA des productions d'EF « uniques et inhabituelles, incluant des mélanges d'émotions incompatibles », non présentes chez les populations typiques et trisomiques. Également, certaines EF sont produites de façon exagérée, et sont jugées peu crédibles, notamment pour la colère. Parfois encore, certains enfants verbalisent les émotions plutôt que de les produire. Les EF sont également significativement de meilleure qualité lorsqu'elles sont produites lors d'une tâche de mime (sans modèle) plutôt que lors d'une tâche d'imitation (avec modèle). Nous supposons que, comme chez les enfants tout-venants (Grossard et al., 2017c), la production d'EF sans modèle sur lequel s'appuyer oblige l'enfant à se faire une représentation de l'émotion demandée avant sa production. Cette représentation mentale faciliterait la production naturelle de l'EF. Au contraire, la tâche d'imitation inciterait à produire des expressions plus « calquées » au modèle, et donc moins naturelles. L'équipe de Loveland et al. (1994) qui a également comparé les EF produites à travers ces deux tâches n'avait pas trouvé de différence significative entre les EF mimées et imitées, chez des adolescents avec TSA. Cependant, les conditions étaient différentes puisque la tâche d'imitation était toujours proposée avant le mime pouvant entraîner un effet d'apprentissage. De plus, le modèle était une personne humaine située en face du participant et non un avatar. La qualité des avatars utilisés dans notre protocole peut avoir influencé la production des enfants avec TSA.

Nous n'avons pas retrouvé d'effet significatif de l'âge sur les performances des enfants avec TSA. Dans la littérature, aucune étude chez les enfants avec TSA ne s'interroge spécifiquement sur l'influence de l'âge sur la qualité des productions de leurs EF, ce qui ne nous permet pas de comparer nos résultats. En revanche, chez les enfants tout-venants, les productions des EF s'améliorent significativement avec l'âge (Grossard et

al., 2017c). Cette différence pourrait s'expliquer par le déficit d'imitation spontanée présent chez les enfants avec TSA (Vivanti & Hamilton, 2014). Ainsi, ces enfants ne développeraient pas spontanément leurs productions d'EF comme le feraient les enfants neurotypiques au fil des années. Cela justifie d'autant plus la nécessité d'une prise en charge spécifique concernant les EF, afin d'éviter que l'écart ne se creuse entre les enfants typiques et avec TSA.

Le sexe de l'enfant ne ressort pas non plus comme un facteur influençant. Ceci pourrait s'expliquer par un nombre trop restreint de participantes. Dans notre étude, il n'y a que 9 filles sur les 36 enfants rencontrés. C'est également le constat retrouvé par Brewer et al. (2016). Seule l'équipe de Faso et al. (2015) retrouve une différence significative de qualité de production entre des adultes avec et sans TSA en fonction du sexe : les hommes produiraient des EF plus reconnaissables et plus naturelles que les femmes. Cependant, précisons que cette étude s'intéresse à des personnes adultes et que dans ce cas ces conclusions ne peuvent être entièrement transposables aux enfants.

Également, la bimodalité ne semble pas influencer les productions des enfants, ce qui pourrait indiquer que les participants traitent en priorité l'image et ne sont pas aidés par le son des modèles produisant les différentes émotions. C'est également ce qui a été retrouvé dans l'étude de Grossard et al. (2017c) chez les enfants tout-venants.

Enfin, l'ordre de présentation des différentes tâches n'influence pas les productions, ce qui va dans le sens d'une indépendance entre les tâches d'imitation et de mime.

Le deuxième objectif de cette étude était d'analyser les productions des enfants TSA lors de la phase d'apprentissage grâce à un algorithme de reconnaissance d'EF et de comparer l'évaluation par l'algorithme à celle des juges humains. Ainsi nous retrouvons certains effets déjà observés dans le protocole précédent. En effet, la joie et la colère sont significativement mieux produites que la tristesse. Cette corrélation suggère que le système de reconnaissance automatique du jeu fonctionne correctement, grâce à l'algorithme entraîné sur la base de données d'enfants typiques. Autrement dit, la détection d'EF par la caméra semble assez fine pour évaluer la qualité des EF, puisque nous retrouvons les mêmes effets concernant les facteurs impactant les productions des EF pendant le protocole et pendant la première phase du jeu. Comme dans la première partie, nous ne retrouvons pas d'effet significatif concernant l'âge et le genre. L'effet du type de tâche n'a pas pu être recherché, puisque nous considérons que les enfants sont soumis à un effet d'apprentissage au fil de l'entraînement des mini-jeux.

Le troisième objectif de cette étude consistait à évaluer l'adaptabilité du jeu pour les enfants avec TSA, notamment en termes d'apprentissage, d'ergonomie, d'aspect visuel et de satisfaction. En effet, aucun JS à ce jour ne combine effets thérapeutiques, retour visuel en temps réel et visuel 3D (Grossard et al., 2017a). C'est pourtant ce que JEMImE tente d'associer.

L'effet d'apprentissage a été évalué pour la phase d'apprentissage de JEMImE. Cette première partie du jeu propose de produire plusieurs fois chacune des émotions dans des contextes différents, et offre un retour visuel en direct grâce au système de jauges. On observe un véritable effet de l'entraînement. Les résultats montrent un effet significatif de cet apprentissage puisqu'il y a une amélioration des performances au fur et à mesure que l'enfant réalise les mini-jeux. Ces résultats vont dans le sens d'une bonne appropriation du jeu par les joueurs, qui apprennent à utiliser les moyens mis à leur disposition pour améliorer la reconnaissance de leurs EF par le jeu.

Concernant l'ergonomie, l'aspect visuel et la satisfaction envers le jeu, un questionnaire abordant ces 3 thèmes a été rempli par les enfants ayant testé le jeu (Annexe B). Ces questions concernent la création de l'avatar ainsi que les deux phases de jeu.

La majorité des études s'intéressant aux JS se focalisent sur la validité clinique du jeu au détriment de la jouabilité et de l'ergonomie. Pourtant, les aspects ludique et ergonomique semblent être des points essentiels dans la motivation de l'enfant (Grossard et al., 2017a). D'après les réponses au questionnaire, JEMImE se révèle être un support adapté aux enfants avec TSA : 65% des réponses aux items concernant l'ergonomie du jeu obtiennent la meilleure mention « tout à fait d'accord » et 27% la mention « plutôt d'accord ». Les questions posées interrogeaient les enfants sur la facilité d'utilisabilité du jeu. Par exemple, deux items du questionnaire ciblaient la pertinence du feedback visuel et du système de jauges. A la question « C'était facile de comprendre les jauges de couleur quand je devais faire l'émotion avec mon visage », 58% des enfants étaient « totalement d'accord » avec cette affirmation et 23% étaient « plutôt d'accord ». Nous retrouvons les mêmes pourcentages pour l'item « Ça m'aide de me voir en vidéo pour bien faire l'émotion avec mon visage ».

Le design de JEMImE semble particulièrement attractif. En effet, les questions ciblées sur l'aspect visuel du jeu rapportent que 53% des réponses obtiennent la mention « tout à fait en accord » et 34% la proposition « plutôt d'accord ». Les questions sur l'aspect visuel concernaient l'esthétique des avatars, de la ville ou encore des boutons du menu. Plusieurs enfants ont spontanément commenté positivement les décors « ça fait vraiment vie réelle, plein de décors c'est bien ! » « c'est pas mal quand même ! » « ça me rappelle

quand je me balade avec mes parents le dimanche ! ». Cependant, la majorité des enfants ont trouvé la ville trop vide et nous ont rapporté de nombreuses idées pour l'améliorer. Les enfants souhaiteraient, par exemple, que des voitures et taxis qui circuleraient dans la ville soient ajoutés, que la ville soit agrandie, que plus de personnages soient intégrés ou encore ils aimeraient avoir la possibilité d'entrer dans plus de bâtiments. Ces remarques s'expliquent car la version qui leur a été proposée n'est actuellement qu'un prototype. Elles amènent des perspectives pour poursuivre le développement du jeu.

Les enfants ont globalement apprécié de jouer à JEMImE. Beaucoup d'entre eux continuaient de jouer alors que le jeu était terminé (l'ensemble des pièces et des bonbons étaient récoltés). 83% ont déclaré qu'ils souhaitaient pouvoir rejouer chez eux : 67% étaient « tout à fait d'accord » et 16% « plutôt d'accord » avec cette affirmation. Nous avons noté chez la majorité des participants une grande motivation pour aller chercher les bonbons dans la ville. En effet, beaucoup d'entre eux ont choisi d'aller d'abord récolter les bonbons avant de jouer les scénarii. Également, la personnalisation de l'avatar semble être une option très plaisante pour les enfants puisque 92% d'entre eux ont préféré le créer plutôt que de choisir un avatar pré-conçu. Enfin, nous observons que les enfants échangent beaucoup avec les thérapeutes pendant le jeu et semblent être de plus en plus à l'aise au cours du temps, ce qui fait de JEMImE un support favorisant l'alliance thérapeutique comme cela a été démontré pour plusieurs jeux sérieux (Fovet et al., 2016).

Limites

Plusieurs limites et biais sont à prendre en compte dans notre étude. En effet, un biais lié aux modalités de cotation des vidéos est envisageable. En visionnant chaque vidéo, les juges avaient connaissance de l'émotion cible à produire, ce qui pouvait influencer leur jugement. Il aurait été plus objectif de ne pas connaître l'émotion à produire et d'avoir un plus libre choix d'émotion à coter (ici, le juge cotait via un système de QCM puisqu'il avait le choix entre 4 émotions seulement). De plus, l'avatar à imiter dans le premier protocole expérimental mais également dans JEMImE n'étant pas une vraie personne, il ne constitue pas un modèle parfait en termes de naturel. Cela pourrait ainsi induire une imitation de mauvaise qualité. Précisons également que, lors des séances de jeu, les enfants pouvaient « duper » le système de reconnaissance en simulant une production naturelle de leur EF en s'aidant de leurs mains : nous avons observé deux enfants qui tiraient les commissures de leurs lèvres vers le bas pour produire la tristesse. JEMImE est donc un jeu où la présence d'un accompagnateur est primordiale. Enfin, n'oublions pas que toutes ces

observations sont fondées sur des productions volontaires et non spontanées, ce qui ne reflète pas forcément la réalité des productions d'EF des enfants avec TSA au quotidien.

Conclusion

A travers cette étude, nous avons montré que la qualité des EF produites par les enfants avec TSA était réduite. Elle semble être influencée par le type d'émotions ou encore le type de tâches proposées, ce qui se révèle concordant avec les données retrouvées dans la littérature.

Le jeu JEMImE apparaît comme un support adapté et attractif pour travailler les productions d'EF des enfants avec TSA. En effet, nous avons mis en évidence la pertinence de ce jeu : les participants se sont bien saisis de la première phase du jeu durant laquelle ils ont pu s'entraîner à produire des EF et ainsi s'améliorer au cours du jeu. Cette amélioration a été favorisée par le système de feed-back visuel apporté en temps réel par le jeu, dont les enfants se sont rapidement approprié le fonctionnement. De plus, l'aspect visuel du jeu mettant en scène des avatars dans une ville virtuelle a énormément plu aux enfants et les séances de jeu leur ont procuré beaucoup de plaisir.

Il serait intéressant, dans une prochaine étude, de comparer la qualité de production d'EF entre les enfants avec et sans TSA à partir de ces données. L'enrichissement en scénarii et le développement global de JEMImE seraient également souhaitables afin de pouvoir mener une étude plus approfondie qui permettrait de valider son intérêt en remédiation auprès des enfants avec TSA.

Références bibliographiques :

- Brewer, R., Biotti, F., Catmur, C., Press, C., Happé, F., Cook, R., & Bird, G. (2016). Can Neurotypical Individuals Read Autistic Facial Expressions? Atypical Production of Emotional Facial Expressions in Autism Spectrum Disorders. *Autism Research: Official Journal of the International Society for Autism Research*, 9(2), 262-271. <https://doi.org/10.1002/aur.1508>
- Dunn, J. (2003). Emotional development in early childhood: A social relationship perspective. *Handbook of affective sciences*, 332–346.
- Durkin, K. (2010). Videogames and Young People With Developmental Disorders. *Review of General Psychology*, 14, 122-140. <https://doi.org/10.1037/a0019438>
- Faso, D. J., Sasson, N. J., & Pinkham, A. E. (2015). Evaluating posed and evoked facial expressions of emotion from adults with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45(1), 75-89. <https://doi.org/10.1007/s10803-014-2194-7>
- Fovet, T., Micoulaud-Franchi, J.-A., Vaiva, G., Thomas, P., Jardri, R., & Amad, A. (2016). Revue de littérature: Le serious game : applications thérapeutiques en psychiatrie. *Serious game as a therapeutic tool in psychiatry: A systematic review (English)*, 42, 463-469. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2016.02.008>
- Grossard, C., Chaby, L., Hun, S., Pellerin, H., Bourgeois, J., Dapogny, A., ... Cohen, D. (2017c). Children emotion production: influence of age, emotion subtype, elicitation condition and culture. *Manuscrit soumis pour publication*.
- Grossard, C., Grynszpan, O., Serret, S., Jouen AL, Bailly, K., & Cohen, D. (2017a). Serious games to teach social interactions and emotions to individuals with autism spectrum disorders (ASD).
- Grossard, C., Hun, S., Serret, S., Grynszpan, O., Foulon, P., Dapogny, A., ... Cohen, D. (February 1, 2017b). Rééducation de l'expression émotionnelle chez l'enfant avec trouble du spectre autistique grâce aux supports numériques : le projet JEMImE. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 65(1), 21-32. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2016.12.002>
- Grossman, R. B., Edelson, L. R., & Tager-Flusberg, H. (2013). Emotional facial and vocal expressions during story retelling by children and adolescents with high-functioning autism. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research: JSLHR*, 56(3), 1035-1044. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2012/12-0067\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2012/12-0067))
- Izard, C. E. (2001). Emotional intelligence or adaptive emotions? *Emotion (Washington, D.C.)*, 1(3), 249-257.
- Langdell, T. (1981). *Face perception: an approach to the study of autism* (Doctoral). University of London.

- Loveland, K. A., Tunali-Kotoski, B., Pearson, D. A., Brelsford, K. A., Ortegon, J., & Chen, R. (1994). Imitation and expression of facial affect in autism. *Development and Psychopathology*, 6(3), 433-444.
<https://doi.org/10.1017/S0954579400006039>
- Quill, K. A. (1997). Instructional Considerations for Young Children with Autism: The Rationale for Visually Cued Instruction. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 27(6), 697-714. <https://doi.org/10.1023/A:1025806900162>
- Serret, S., Hun, S., Iakimova, G., Lozada, J., Anastassova, M., Santos, A., ... Askenazy, F. (2014). Facing the challenge of teaching emotions to individuals with low- and high-functioning autism using a new Serious game: a pilot study. *Molecular Autism*, 5, 37. <https://doi.org/10.1186/2040-2392-5-37>
- Volker, M. A., Lopata, C., Smith, D. A., & Thomeer, M. L. (2009). Facial Encoding of Children with High-Functioning Autism Spectrum Disorders. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 24(4), 195-204.
<https://doi.org/10.1177/1088357609347325>
- Vivanti, G., & Hamilton, A. (2014). Imitation in autism spectrum disorders. *Handbook of Autism and Pervasive Developmental Disorders, Fourth Edition*.
- Yirmiya, N., Kasari, C., Sigman, M., & Mundy, P. (1989). Facial expressions of affect in autistic, mentally retarded and normal children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 30(5), 725-735.

Annexes



Annexe A : Scénario de l'anniversaire dans la phase « entraînement » de JEMImE : versions positive et négative du scénario

Dans la deuxième partie, quand j'étais dans la ville :

J'ai aimé l'aspect visuel de la ville. [ASPECT]

| Pas du tout d'accord | Pas vraiment d'accord | Plutôt d'accord | Complètement d'accord |
|----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| | | | |

C'était facile de me déplacer dans la ville. [ERGONOMIE]

| Pas du tout d'accord | Pas vraiment d'accord | Plutôt d'accord | Complètement d'accord |
|----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| | | | |

C'était intéressant de gagner des cadeaux. [SATISFACTION]

| Pas du tout d'accord | Pas vraiment d'accord | Plutôt d'accord | Complètement d'accord |
|----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| | | | |

Annexe B : Extrait du questionnaire