

# Chapitre 4. La mesure et l'analyse des émotions

Léa Dedola

DANS **LES ÉMOTIONS DANS LES CRÉATIONS ARTISTIQUES 2024**, PAGES 113 À 148  
ÉDITIONS **LES PRESSES DES MINES**

ISBN 9782385424268

Date de mise en ligne : 09/09/2024

Article disponible en ligne à l'adresse

<https://shs.cairn.info/les-emotions-dans-les-creations-artistiques--9782385424268-page-113?lang=fr>



Découvrir le sommaire de ce numéro, suivre la revue par email, s'abonner...  
Scannez ce QR Code pour accéder à la page de ce numéro sur Cairn.info.



**Distribution électronique Cairn.info pour Les Presses des Mines.**

Vous avez l'autorisation de reproduire cet article dans les limites des conditions d'utilisation de Cairn.info ou, le cas échéant, des conditions générales de la licence souscrite par votre établissement. Détails et conditions sur [cairn.info/copyright](https://cairn.info/copyright).

Sauf dispositions légales contraires, les usages numériques à des fins pédagogiques des présentes ressources sont soumises à l'autorisation de l'Éditeur ou, le cas échéant, de l'organisme de gestion collective habilité à cet effet. Il en est ainsi notamment en France avec le CFC qui est l'organisme agréé en la matière.

# Chapitre 4

## La mesure et l'analyse des émotions

Léa Dedola

Pour exploiter techniquement et artistiquement les composantes expressives des émotions, le concepteur-artiste doit passer par trois étapes majeures. Une première étape, de **mesure**, consiste à prélever méthodologiquement à l'endroit désiré un signal physiologique, comportemental, facial, vocal, voire une donnée subjective (un avis, par exemple). Une deuxième étape, d'**analyse**, repose sur le traitement logiciel des signaux mesurés selon des paramètres choisis durant la phase de création. Enfin, une dernière étape, d'**exploitation**, repose sur l'interprétation artistique des données biologiques, selon des paramètres esthétiques, narratifs et fonctionnels<sup>1</sup>.



**Figure 37.** Étapes de la création artistique dans le cadre d'I<sup>2</sup> émotionnelles avec ou sans *biofeedback* (dessin de l'auteure).

Dans ce chapitre, ne seront donc traitées que les interfaces qui permettent la mesure et l'analyse des expressions émotionnelles humaines et non les dispositifs permettant d'induire des émotions (interfaces sensorielles). Une mesure sera dite **invasive** quand un capteur pénètre l'intérieur du corps humain pour en prélever une données et **non-invasive** quand celui-ci se situe à la surface du corps. Pour chaque versant expressif, il existe une quantité de dispositifs et de méthodologies de mesure et d'analyses possibles qui peuvent être utilisées ou inspirantes dans

<sup>1</sup> Les paramètres fonctionnels sont opérants dans le cadre d'une activité vidéoludique ou de réalité virtuelle.

le cadre de la création artistique<sup>2</sup>. La liste que nous produisons sera néanmoins non-exhaustive pour deux raisons :

- D'abord, toutes les méthodologies et dispositifs bien qu'employés dans la sphère scientifique, n'appartiennent pas *a priori* au cadre artistique. Nous nous dispenserons, par exemple, de citer la gazométrie artérielle qui mesure les gaz O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> dans le sang *via* une ponction du sang dans l'artère.
- Aussi, il est certain que les interfaces I<sup>2</sup> émotionnelles s'inspirent des technologies développées dans le **champ du médical**. Toutefois, le cadre artistique est plus souple à l'égard des méthodes scientifiques de mesure et d'analyse, dont la rigueur provient habituellement du besoin de standardisation des résultats. Par conséquent, il existe autant de paramètres exploitables des signaux émotionnels, qu'il existe d'œuvres interactives et immersives basées sur ce mode<sup>3</sup>. Néanmoins, certaines méthodologies scientifiques et certains dispositifs peuvent inspirer les concepteurs-artistes.

Dans ce chapitre, nous présentons les mesures et les analyses de manière séparée, il est toutefois important d'affirmer que celles-ci peuvent être combinées et produire des enregistrements et des analyses multicanaux : un électromyogramme avec un électroencéphalogramme ou avec un questionnaire, le « calendrier des affects positifs et négatifs » (ou PANAS, *Positive Affect and Negative Affect Schedule*), par exemple. Ces mesures et analyses multicanaux ont pour résultat de préciser le résultat recherché (cadre scientifique) ou d'améliorer, multiplier, la dimension immersive et interactive de l'œuvre (cadre artistique). Ainsi, l'expérience pourrait théoriquement répondre au participant sur le mode cardio-vasculaire, en transformant par exemple les ambiances colorimétriques en fonction de l'amplitude du pouls, tout en déclenchant des événements lorsque l'individu porte son attention sur un élément de l'environnement (électroencéphalogramme ou oculométrie). Par exemple, Teresa Marrin Nakra a conçu « The conductor's Jacket » en 1998, un dispositif avec EMG, ECG, capteurs respiratoires, capteur électrodermal et de température<sup>4</sup>, afin d'interfacer l'activité physiologique et gestuelle (position, accélération et tension musculaire) du chef d'orchestre dans une formule ergonomique et portable (*wearable*).

2 Celles-ci peuvent être lues dans le détail dans DEDOLA, Léa, *op. cit.*, 2022.

3 Toutefois, certaines œuvres sont soutenues par des recherches scientifiques, comme *Deep* de Marieke Van Rooij, Adam Lobel, Owen Harris, Niki Smit, Isabela Granic, 2016 (expérience de réalité virtuelle).

4 L'équipement de base de chaque veste comprenait les capteurs suivants : « quatre capteurs EMG (électromyographie) [...] un capteur de respiration Thought Technology. Un moniteur de fréquence cardiaque produit par Polar. Un capteur galvanique de réponse cutanée et un capteur de température de Thought Technology », MARRIN NAKRA, Teresa, « Inside the *Conductor's Jacket*: Analysis, Interpretation and Musical Synthesis of Expressive Gesture », Thèse, Massachusetts Institute of Technology, 2000, p. 60.

## DISPOSITIFS DE MESURES PHYSIOLOGIQUES

La **composante émotionnelle-physiologique** est mesurée par de nombreux dispositifs et méthodes qui explorent différents systèmes ou organes du corps humain : neuronal-cérébral (cerveau), cardio-vasculaire (cœur), respiratoire (poumon), dermale (peau), digestif (œsophage, estomac, intestins<sup>5</sup>), sexuels et ainsi de suite. Les mesures les plus utilisées dans le cadre de la création artistique sont les mesures respiratoires, les mesures cardio-vasculaires et les mesures de l'activité électrique du cerveau. *A priori*, les raisons qui motivent un tel choix de capteurs sont le **prix** (pas cher sur le marché), la **praticité** (techniques ambulatoires, non invasives, savoir-faire plus accessible<sup>6</sup>) et la **qualité du signal** (électrique pour la plupart et donc interfaçable et analysable par ordinateur). Dans le cadre de la création, les mesures électrodermales et les mesures de la température sont un peu moins fréquentes, mais il n'est pas impossible d'en observer puisque les dispositifs et pratiques associées sont plutôt accessibles (*wearables*), notamment les montres ou les bracelets connectés et les caméras thermiques.

### Le système neuronal-cérébral

Dans la sphère médicale, le **système neuronal-cérébral** est mesuré par des électroencéphalogrammes (EEG) dont la fonction est d'enregistrer, grâce à des électrodes disposées de manière régulière à la surface du scalp<sup>7</sup>, l'activité électrique des neurones «générée par le fonctionnement neuronal cérébral<sup>8</sup>». Elle est aussi mesurée par des dispositifs de magnétoencéphalographie (MEG), qui enregistrent «les champs magnétiques cérébraux<sup>9</sup>». Cette technique est plus précise que les EEG car elle bénéficie d'une «meilleure résolution spatiale<sup>10</sup>» mais cette haute résolution s'effectue aux dépens de son envergure – elle est donc peu «ambulatoire<sup>11</sup>» – et de son prix qui est élevé en coût initial et aussi en coût d'entretien, puisqu'il faut remplacer l'hélium liquide qui sert de refroidisseur aux

5 Notre «deuxième cerveau», autrement nommé système nerveux entérique.

6 Ces accessoires sont plus couramment utilisés, par conséquent il existe de nombreux tutoriels explicatifs, de logiciels ou *plugin* conçus pour les concepteurs-artistes.

7 Le positionnement des électrodes doit suivre des «règles standardisées», par exemple «le système international 10-20» de Herbert H. Jasper (1958), afin de garantir que la «méthode est reproductible et permet ainsi une comparaison des mesures interindividus ou d'un même sujet enregistré plusieurs fois». CAMPAGNE Aurélie, VERCUEIL Laurent, «Electroencéphalographie», dans Pascal Hot, Sylvain Delplanque, *Electrophysiology de la cognition*, Paris, Dunod, 2013, p. 30.

8 *Ibid.*, p. 21.

9 D'HONT Fabien, SEQUEIRA Henrique, «La magnétoencéphalographie dans l'étude de la cognition», dans Pascal Hot, Sylvain Delplanque, *op. cit.*, p.101.

10 *Ibid.*

11 *Ibid.*, p. 103.

supraconducteurs de la machine. Elle peut aussi être mesurée par des techniques de Tomographie par Émission de Positons (TEP ou *Pet scan*), qui recourent à des « traceurs radioactifs » injectés en intraveineuse dans l'objectif de produire « des images tomographiques et de haute résolution spatiale de l'ensemble du cerveau<sup>12</sup> ». L'activité du système neuronal peut aussi être enregistrée par des dispositifs d'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) Fonctionnelle cérébrale (IRMf) qui mesurent la saturation en oxygène dans le sang : « une activation d'une zone du cerveau entraîne le transport de plus de sang oxygéné vers cette zone [...] Ce changement de signal est représenté par la partie du cerveau « allumée » dans une image IRMf<sup>13</sup> ». Enfin, la mesure de l'activité neuronale peut aussi être invasive et avoir lieu « directement dans le tissu cérébral<sup>14</sup> ». C'est le cas de figure proposé par les enregistrements électrophysiologiques intracérébraux, qui insèrent des électrodes corticales à quelques millimètres à l'intérieur du crâne, ou des électrodes profondes capables de recueillir le signal électrique des structures du cerveau. Les enregistrements intracérébraux ont la particularité d'être performants tant sur le plan spatial – plan qui concerne la précision de la localisation du signal dans le cerveau – que temporel, car *a contrario* des autres pratiques, l'étude intracérébrale est directe et avec une « haute résolution temporelle de l'ordre de la milliseconde<sup>15</sup> ».

Les **méthodes d'analyse** des signaux du cerveau, dépendent évidemment du dispositif de mesure qui est choisi. Elles comprennent surtout la méthode des « potentiels évoqués » qui mesure les « modifications électriques synchronisées avec des processus spécifiques de traitement de l'information sensorielle et de processus cognitifs endogènes [internes], survenant sur une période donnée du signal EEG<sup>16</sup> ». Ces stimuli sensoriels peuvent être visuels (Potentiels Évoqués Visuels ou PEV), auditifs (Potentiels Évoqués Auditifs ou PEA), somesthésiques (Potentiels Évoqués Somesthésiques ou PES) et ainsi de suite. L'Analyse spectrale – autrement nommée analyse fréquentielle ou approche temps-fréquence – décompose quant à elle, par filtrage, par ondelettes ou avec une transformée de Fourier<sup>17</sup>, l'amplitude des potentiels de champs enregistrés « en oscillations sinusoïdales correspondant à des bandes de fréquences distinctes et associées à certaines fonctions ou processus

12 BARON, Jean-Claude, « La tomographie par émission de positons », dans Francis Eustache, Bernard Lechevalier, Fausto Viader, *Les méthodes de la neuropsychologie*. Louvain-la-Neuve, De Boeck Supérieur, 2001, p. 158.

13 BALTERS Stephanie, STEINERT Martin, « Capturing emotion reactivity through physiology measurement as a foundation for affective engineering in engineering design science and engineering practice », *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 28, 2015, p. 1596.

14 PÉRON Julie, CHRISTEN Andy, GRANDJEAN Didier, « Enregistrements électrophysiologiques intracérébraux », dans Pascal Hot, Sylvain Delplanque, *op. cit.*, p. 79.

15 *Ibid.*

16 CAMPAGNE Aurélie, VERCUEIL Laurent, *op. cit.*, p. 39.

17 Méthodes de « transformations du signal brut en oscillations », dans PÉRON Julie, CHRISTEN Andy, GRANDJEAN Didier, *op. cit.*, p. 90.

psychologiques<sup>18</sup>». Ces fréquences sont de type «delta» (1 à 4Hz), «thêta» (4 à 8 Hz), «alpha» (8 à 12 Hz), «bêta» (12 à 30 Hz), «gamma» (30 à 80 Hz)<sup>19</sup>.

**Tableau 6.** Résumé des méthodes de mesure et des méthodes d'analyse du système neuronal.

Composante physiologique	Méthodes de mesure	Méthodes d'analyse
Neuronale-cérébrale	Électroencéphalogramme (EEG)	Méthode des Potentiels évoqués (PEs) Analyse spectrale ou fréquentielle ou approche temps-fréquence

Pour la plupart, les capteurs de mesure de l'activité cérébrale et les méthodes d'analyse qui leur sont dédiées sont des technologies scientifiques rigoureuses, telles que les systèmes de casquette EEG ou les dispositifs de magnétoencéphalographie, tels que le CTF MEG 275. Toutefois, il existe aussi des dispositifs compatibles avec la création artistique, c'est-à-dire accessibles financièrement et faciles à utiliser pour les non-initiés. Ces dispositifs intègrent notamment des méthodes d'analyse sous la forme de logiciels dédiés constituant donc des Aides Logicielles Émotionnelles (AL Emo). Parmi ces dispositifs figurent le casque Emotiv EPOC et le casque Nextmind (EEG), ce dernier étant compatible avec le logiciel *Unity* qui permet l'édition d'expériences vidéoludiques et de réalité virtuelle. Le casque Nextmind enregistre l'activité du cortex visuel (focus et attention) en temps réel *via* huit capteurs positionnés à l'arrière du crâne.



**Figure 38.** Dispositif de mesure de l'activité cérébrale (EEG), le casque Nextmind.

<sup>18</sup> *Ibid.*, p. 89.

<sup>19</sup> *Ibid.*

L'activité cérébrale a été souvent interfacée dans le cadre de l'art numérique, notamment par des mouvements artistiques tels que celui de la sonification<sup>20</sup>. Dans le cas de l'œuvre *Staalhemel* (Christophe de Boeck, 2009-2011, installation neuro-interactive), le participant est outillé d'un EEG portable et se promène dans un hangar contenant «80 segments d'acier suspendus». L'activité cérébrale de l'individu active «de petits marteaux qui frappent sur les plaques d'acier<sup>21</sup>», provoquant ainsi des vibrations sonores. Activé par les signaux cérébraux, cet espace sonore représente l'activité cognitive du participant en temps réel: son état cérébral est influencé par son parcours artistique et *vice versa*.



**Figure 40.** *Staalhemel*, Christophe de Boeck, 2009-2011, installation neuro-interactive.

### Le système cardio-vasculaire

Considéré comme la première «horloge» du corps, le **système cardio-vasculaire** est évalué par des dispositifs de pléthysmographie cardiaque qui mesurent les variations de volume des vaisseaux sanguins, ainsi que des oxymètres de pouls, qui calculent la saturation en oxygène dans le sang et la fréquence du pouls grâce à une lumière infrarouge traversant les tissus. Les variations de lumières rouge et infrarouges sont ensuite «détectée par un photocapteur»: quand l'hémoglobine est oxygénée, elle «absorbe plus de lumière infrarouge et laisse passer la lumière rouge», quand l'hémoglobine est désoxygénée, elle «absorbe plus de lumière rouge et laisse passer la lumière infrarouge<sup>22</sup>». La plupart du temps, les dispositifs d'électrocardiographie (ECG) mesurent indirectement le courant électrique à l'origine de la contraction (la «systole<sup>23</sup>») du muscle cardiaque (le battement cardiaque). Toutefois, quand elle est prise très proche du muscle cardiaque, la pression sanguine, ou pression artérielle (quand elle est prise dans les artères), est une mesure directe qui calcule la force produite par le sang qui est

<sup>20</sup> Ou de la *Brainwave music*, mouvement artistique qui consiste à traduire des ondes cérébrales en ondes sonores.

<sup>21</sup> «Tangible Feelings», *legacy.imal*, Art Center for Digital Cultures & Technology, 16 septembre-18 septembre 2011, archive du catalogue d'exposition, [<https://legacy.imal.org/fr/more/tangible-feelings-exhibition>]

<sup>22</sup> BALTERS Stephanie, STEINERT Martin, *op. cit.*, p. 1591.

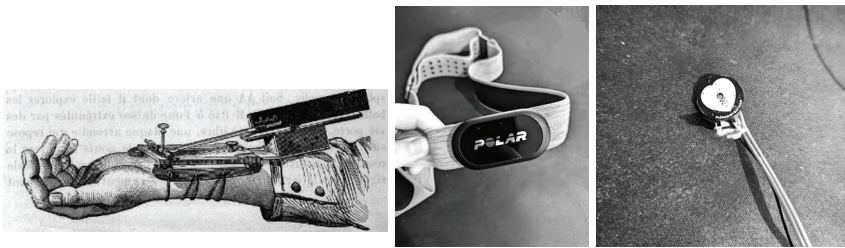
<sup>23</sup> PELLISSIER, Sonia, «Variabilité du rythme cardiaque», dans Pascal Hot, Sylvain Delplanque, *op. cit.*, p. 161.

expulsé par le cœur. Ces dispositifs et types de mesure produisent trois indicateurs: la fréquence (le nombre d'impulsions par minute), le rythme des pulsations et la qualité du pouls (la force du pouls *versus* le volume d'éjection du sang<sup>24</sup>).

**Tableau 7.** Résumé des méthodes de mesure et des méthodes d'analyse du système cardio-vasculaire.

Composante physiologique	Méthodes de mesure	Méthodes d'analyse
Cardio-vasculaire (1 <sup>re</sup> horloge corporelle)	Pléthysmographie cardiaque Pression sanguine (mesure directe) / Tensiomètres Oxymètre (de pouls) Électrocardiographie	Trois indicateurs: la fréquence, le rythme, la qualité du pouls.

Dans le domaine de la santé, l'évaluation de la pression sanguine s'effectue à l'aide de stéthoscopes et des tensiomètres (EVOLV HEM-7600T-E). L'activité électrique du cœur est calculée par des ceintures ECG telles que le dispositif LEVMED. Cependant, dès 1859, Étienne-Jules Marey traitait déjà de la question cardio-vasculaire et respiratoire dans le cadre de ses recherches, lorsqu'il a publié sa thèse de médecine sur le sujet de *La circulation du sang à l'état physiologique et dans les maladies*<sup>25</sup>. En 1863, il améliore un dispositif mécanique de détection du pouls (pulsations, rythme et amplitude) inventé par Karl von Vierordt<sup>26</sup>, le Sphygmographe<sup>27</sup>, en le rendant plus léger.



**Figure 41.** Dispositifs liés à la mesure de l'activité cardio-vasculaire (ECG). Dans l'ordre : Sphygmographe de Jules Marey, ceinture Polar et capteur de pléthysmographie cardiaque PulseSensor.

24 BALTERS Stephanie, STEINERT Martin, *op. cit.*, p. 1591.

25 MAREY, Étienne-Jules [1959], *La circulation du sang à l'état physiologique et dans les maladies*, Thèse, Paris, G. Masson, 1881.

26 «À peine connaissait-on en France ce genre de recherches, que déjà un procédé nouveau tendait en Allemagne à se substituer à l'emploi du *kymographion*. Karl Vierordt imagina d'adapter à l'artère un levier que chaque pulsation soulèverait, et qui, redescendant dans l'intervalle de deux pulsations consécutives, fournirait des mouvements d'ascension et de descente qui s'inscriraient sur le cylindre [...] Ce nouvel instrument permettait d'appliquer à la physiologie humaine et à la clinique des recherches qui, jusque-là, ne pouvaient être faites que sur les animaux, car elles exigeaient une vivisection». MAREY, Étienne- Jules, *Recherches sur le pouls au moyen d'un nouvel appareil enregistreur; le sphygmographe*, Paris, Thunot, 1860, p. 6.

27 MAREY, Étienne-Jules, *La méthode graphique dans les sciences expérimentales et principalement en physiologie et en médecine*, Paris, G. Masson, 1878, p. 281



l'expiration il bat «plus lentement<sup>29</sup>». C'est pourquoi, les ceintures de respiration et des montres connectées sont beaucoup utilisées dans les cadres artistiques et sportifs notamment. Elles déduisent la fréquence respiratoire de l'activité cardiaque de l'individu (mesure indirecte). Dans le domaine médical, la respiration est calculée par les dispositifs de spirométrie, qui mesurent le volume pulmonaire et le débit d'air de l'individu (ses capacités respiratoires) ou grâce à des dispositifs de pléthysmographie respiratoire par inductance, qui mesure l'amplitude et le rythme des mouvements respiratoires. Dans le cas de la pléthysmographie respiratoire par inductance, un dispositif piézoélectrique est généralement intégré à une ceinture thoracique bien placée sous les aisselles et serrée au «point d'expiration maximal<sup>30</sup>». La traction et la compression qui sont exercées par la ceinture, modifie l'équilibre électrique en fonction des variations de la circonférence du thorax. Le signal doit être «calibré» – il faut «déterminer les coefficients multiplicateurs [...] des signaux thoraciques et abdominaux pour obtenir un signal Somme, proportionnel aux variations du système dans son ensemble<sup>31</sup> »– et «étalonné», c'est-à-dire obtenir une «proportionnalité entre le signal Somme et le volume ventilé<sup>32</sup>». De nombreuses méthodes sont appliquées pour produire ces estimations, à commencer par la méthode de R. B. Banznett et al.<sup>33</sup>, qui est une méthode simple s'appuyant sur les différences d'envergure du thorax et de l'abdomen.

29 *Ibid.* C'est le cas des montres ou des ceintures connectées Garmin, par exemple. Dans la page dédiée au support, nous apprenons que: «Chaque respiration que vous prenez est codée dans la variabilité de votre fréquence cardiaque (HRV). La période entre les battements cardiaques consécutifs se raccourcit légèrement lorsque vous inspirez, et se prolonge lorsque vous expirez. Le terme pour ce phénomène biologique est l'arythmie sinusale respiratoire (RSA). La capacité à extraire d'une manière analytique la fréquence respiratoire des données dépend de l'obtention de données de fréquence cardiaque précises. La fréquence cardiaque d'un battement à un autre peut varier de l'ordre de millisecondes. La précision nécessaire pour cette analyse est seulement réalisable à l'aide d'une ceinture de fréquence cardiaque thoracique en raison de la difficulté à mesurer la performance lors de l'activité physique», Site de *Garmin*, [https://support.garmin.com/fr-FR/?faq=2yEgS0Pax53UDqUH7q4WC6]

30 *Ibid.*

31 SABIL, Abdelkebir, «La pléthysmographie respiratoire par inductance sans étalonnage. Développements en exploration, surveillance et assistance respiratoire», *Thèse*, Université Joseph Fourier-Grenoble 1, 2005, p. 16.

32 *Ibid.*

33 BANZETT Robert B., MAHAN Susan T., GARNER David M., BRUGHERA Andrew, LORING Stephen H., «A simple and reliable method to calibrate respiratory magnetometers and Resptrace», *Journal of Applied Physiology*, vol. 79, 1995, p. 2169-2176.

**Tableau 8.** Résumé des méthodes de mesure et des méthodes d'analyse du système respiratoire.

Composante physiologique	Méthodes de mesure	Méthodes d'analyse
Respiratoire (2 <sup>e</sup> horloge corporelle; s'ajuste avec le rythme cardiaque)	Spirométrie Pléthysmographie respiratoire par inductance ECG (mesure indirect)	Méthode de déduction à partir du rythme cardiaque Méthode de Banznett

Dans le domaine artistique, les chercheurs Jean-François Baud et Anne Sédes ont travaillé avec le CICM du MSH Paris Nord en 2002-2003 et l'entreprise Interface Z<sup>34</sup> pour réaliser l'interfaçage cardiaque et respiratoire d'un trapéziste au cours de sa performance. Les données mesurées par le prototype de cardio-fréquence-mètre sont combinées avec un capteur thermique (Interface Z) et un capteur de respiration pour multiplier le nombre « d'informations corporelles physiologiques intéressantes à exploiter artistiquement, tout en gardant une interface fonctionnelle et ergonomique<sup>35</sup> ». En ce sens, le capteur de respiration a été choisi pour les potentiels d'interaction qu'il génère<sup>36</sup> et est placé directement sur le prototype de ceinture thoracique du cardio-fréquence-mètre par l'implémentation d'un « capteur d'étirement (présenté comme un « fil élastique »)<sup>37</sup> ». Toutefois, les chercheurs lui préfèrent *in fine* « un capteur de pression à jauge de contrainte [...] plus précis et linéaire<sup>38</sup> » développé par l'entreprise BIOPAC qui produit du matériel médical, mais détourné à des fins artistiques : le signal respiratoire est transformé en signal MIDI *via* un émetteur-récepteur sans fil. Les capteurs cardio-fréquence-mètre et respiratoires sont ensuite testés de manière empirique sur la trapéziste. Les données prélevées sur le corps de l'artiste lors de sa performance servent à réaliser « une émulation sonore et musicale<sup>39</sup> » en temps réel.

34 « Une structure spécialisée dans le développement de modules capteurs et interfaces midi pour la sphère artistique », BAUD Jean-François, SEDES Anne, « Vers une approche physiologique de l'interface corporelle pour les arts interactifs », *Actes de la 14<sup>e</sup> Journée d'Informatique Musicale (JIM)*, Grenoble, 2009, p. 42. L'intention de produire un capteur physiologique dédié à une œuvre de recherche-crédation confirme bien qu'il existe un transfert des dispositifs scientifiques vers les dispositifs artistiques, notamment justifié par les contraintes de prix et d'usages (électrodes à usages uniques, par exemple) rencontrées avec le matériel médical. *Ibid.*, p. 41.

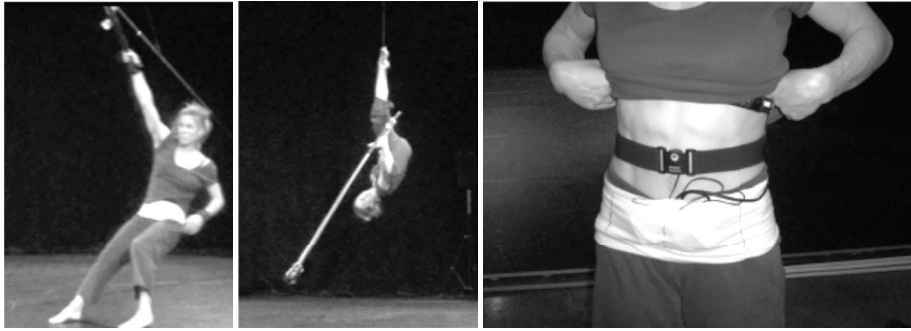
35 *Ibid.*, p. 42.

36 La respiration est un système du corps facilement maîtrisable par l'utilisateur.

37 *Ibid.*

38 *Ibid.*, p. 43.

39 *Ibid.*, p. 44.



**Figure 43.** Trapéziste avec ceinture de respiration en position ventrale lors du travail chorégraphique (2002-2003), *Actes de la 14<sup>e</sup> Journée d'Informatique Musicale (JIM)*, performance avec ECG et ceinture respiratoire.

## Le système excréteur

La **réponse électrodermale** est mesurée à partir des sécrétions de sueur des glandes sudoripares eccrines souvent présentes « sur la paume de la main<sup>40</sup> » (mesure exosomatique). Toutefois, la mesure du système excréteur s'est aussi démocratisée sur les montres connectées-portables<sup>41</sup> (*wearables*) pour calculer les niveaux de stress sur le poignet. Ces dispositifs de mesure appartiennent donc pleinement à la sphère scientifique-artistique (et scientifique-sportive) pour calculer les I<sup>2</sup> émotionnelles. En effet, l'amplitude des réponses électrodermales « s'accroît de manière linéaire avec l'intensité estimée de l'activation émotionnelle » et l'activité électrodermale peut aussi « témoigner d'un traitement spécialisé de l'information émotionnelle en termes de valence<sup>42</sup> ».

La réponse électrodermale est soit spontanée et non spécifique (elle fait l'objet d'aucune stimulation), soit provoquée ou spécifique, c'est-à-dire effectuée « en réaction à des stimulations contrôlables par le dispositif expérimental<sup>43</sup> » ce dernier pouvant être artistique. Ces mesures comportent plusieurs caractéristiques propres, « temporelles » et de « magnitude » qui désignent par exemple la « morphologie » de la réponse, « l'amplitude » (grandeur, hauteur du signal ou

40 GIL, Sandrine, *op. cit.*, p. 18. Les glandes sudoripares eccrines sont situées sur « tout le corps mais sont principalement situées sur le front, la paume des mains et la plante des pieds », BALTERS Stephanie, STEINERT Martin, *op. cit.*, p. 1594.

41 Voir les montres *fitbit*, [<https://www.fitbit.com/global/fr/technology/stress>]

42 SEQUEIRA Henrique, D'HONDT Fabien, « L'activité électrodermale dans l'étude de la cognition », dans Pascal Hot, Sylvain Delplanque, *op. cit.*, p. 154-155. Les « images émotionnelles produisent des RED [réponses électrodermales] plus amples que celles déclenchées par l'image neutre » et « l'information déplaisante déclenches des RED plus amples que l'information plaisante », *Ibid.*, p. 155.

43 SEQUEIRA Henrique, D'HONDT Fabien, *op. cit.*, p. 146.

du pic de la réponse ou du niveau électrodermal), la «latence» (durée entre la stimulation et le début de la réponse), le «temps de montée» (durée entre le début et le pic de la réponse), la «durée» générale, la «réponse», le «temps de récupération<sup>44</sup>» (durée entre le pic de la réponse électrodermale et le moment d'amplitude décidé par l'expérimentateur : au tiers, à la moitié).

**Tableau 9.** Résumé des méthodes de mesure et des méthodes d'analyse du système excréteur.

Composante physiologique	Méthodes de mesure	Méthodes d'analyse
Système excréteur	Activité électrodermale: Cinq techniques: - Exosomatiques : à la surface de la peau. - Endosomatique : à l'intérieur du corps.	Niveau électrodermal Réponse électrodermale: Morphologie, amplitude latence, temps de montée, durée, réponse, temps de récupération.

Les dispositifs artistiques de conduction cutanée prétendent détecter les mensonges de l'utilisateur, comme avec le bracelet *Truth Wristband* de Sean Montgomery. Cet outil s'inspire directement du polygraphe qui associe des variations physiologiques – en l'occurrence, de réponses cutanées –, à la détection du mensonge. Cependant, ces changements peuvent être déclenchés par une gamme étendue d'émotions, y compris le stress, l'excitation ou la peur, qui ne sont pas exclusivement liées au mensonge. Par conséquent, les «détecteurs de mensonge» ne font pas consensus chez les chercheurs car ils ne sont pas des indicateurs fiables<sup>45</sup>.

L'expérience *SKIN* de Claudia Robles-Angel (2012-2014) se présente sous la forme d'une performance ou d'une installation numérique. Des capteurs de conduction cutanée sont employés pour évaluer «l'humidité de la peau<sup>46</sup>», un indicateur d'activation (*arousal*) lié au stress. Les signaux biologiques sont ensuite exploités artistiquement en temps réel par l'usage de sons et d'images. Lorsque la conductance cutanée est élevée les images projetées sont «instables» et les sons se jouent sur des «fréquences aigues» dans un «environnement sonore chaotique créé par la multiplicité des grains et un mouvement saccadé du son dans l'espace<sup>47</sup>». À l'inverse, lorsque la conduction cutanée est faible, l'état de relaxation du sujet est matérialisé par un «écran totalement bleu» et un «environnement

44 *Ibid.*

45 En dehors du domaine artistique, ces outils peuvent parfois être sujets à des abus. Concernant la fiabilité de ces détecteurs, lire le rapport de la National Research Council, *The polygraph and lie detection*, Washington DC, The National Academies Press, 2003.

46 ROBLES-ANGEL, Claudia, «Skin-Performance», *Claudearbles*, pas de date de publication, consulté le 19 Mars 2021, [<http://www.claudearobles.de/>]

47 ROBLES-ANGEL, Claudia, «The Human Body as an Audiovisual Instrument», dans Andrew Hill (dir.), *Sound and Image. Aesthetics and Practices*, Routledge, 2020, p. 323.

sonore paisible<sup>48</sup>». La version performance de SKIN utilise aussi un dispositif de conductance cutanée tout en suivant cette fois-ci une «dramaturgie précise et composée<sup>49</sup>». En se focalisant sur les «impulsions électriques internes<sup>50</sup>» du corps humain, Claudia Robles-Angles souhaite mettre en valeur les capacités instrumentales de celui-ci et ainsi «rendre visible l'invisible», «audible l'in audible» afin que les participants perçoivent «l'imperceptible<sup>51</sup>».



**Figure 44.** *KIN-Installation* de Claudia Robles-Angel, 2012, performance avec image interactive et capteur électrodermal (crédit photo : Claudia Robles A ©2014-2023 Claudia Robles A/VG Bild und Kunst).



**Figure 45.** *SKIN-Performance* de Claudia Robles-Angel, 2012, performance avec image interactive et capteur électrodermal (crédit photo : Roland Baege ©2013-2023 Claudia Robles A / VG Bild und Kunst).

48 *Ibid.*

49 *Ibid.*

50 *Ibid.* p. 321.

51 *Ibid.* p. 321.

## La température

La **température cutanée** est mesurée grâce à des thermomètres électroniques qui sont constitués d'un « semi-conducteur intégré [qui] modifie sa résistance en fonction de la température corporelle<sup>52</sup> ». Elle peut aussi être évaluée grâce à des thermomètres infrarouges qui « mesurent le rayonnement électromagnétique du corps humain qui varie avec sa température (plus le corps est chaud, plus la longueur d'onde est courte)<sup>53</sup> ». Les thermorécepteurs du froid se situent « au-dessous de l'épiderme<sup>54</sup> » et ceux du chaud « dans les régions supérieures et moyennes du derme<sup>55</sup> ». La sensibilité des thermorécepteurs dépend des modifications de la température cutanée lorsqu'elle est en contact avec un environnement ou un objet, de la surface de la peau où s'établit ce contact et de la vitesse de changement de température<sup>56</sup>. Par conséquent, le moment de la journée et le lieu de la mesure (aisselle *vs.* oreille) influencent la donnée thermique.

**Tableau 10.** Résumé des méthodes de mesure et des méthodes d'analyse de la température.

Composante physiologique	Méthodes de mesure
Température cutanée et corporelle	Thermomètre électronique Thermomètre infrarouge Caméra thermique

La température du corps émet donc un rayonnement infrarouge qui peut aussi être mesuré par une caméra thermique. Dans *Thermal Drift* de Rafeal Lozanno-Hemmer (2022, installation avec capteur de température), des caméras thermiques mesurent la chaleur émanant des participants. L'œuvre a notamment pour vocation de démontrer les processus homéostatiques par lesquels corps et environnements s'entre régulent et s'inter-influencent. Ainsi, le participant observe sur un écran à distance ce qui lui est, d'habitude, invisible – la dispersion de chaleur et d'énergie émanant de son propre corps – et matérialisée ici sous la forme d'un nuage de points.

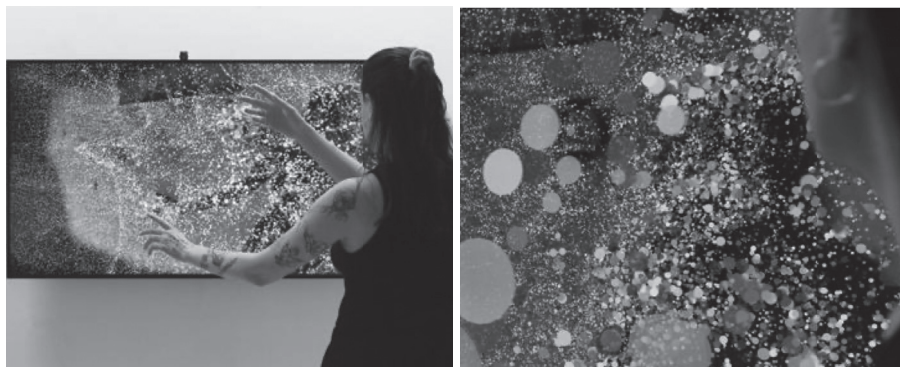
52 Cette résistance est calculée grâce à un instrument de mesure, le « pont de Wheatstone », BALTERS Stephanie, STEINERT Martin, *op. cit.*, p. 1594.

53 *Ibid.*

54 MATH, François, *Neurosciences cliniques. De la perception aux troubles du comportement*, Bruxelles, Éditions De Boeck, 2008, p. 210.

55 *Ibid.*

56 FUCHS, Philippe, *op. cit.*, 2018. p. 59.



**Figure 46.** *Thermal Drift*, Rafael Lozano-Hemmer, 2022, installation interactive avec caméra thermique.

### Systèmes de mesure non exploitables artistiquement

D'autres systèmes du corps sont mesurables, mais nous ne les retrouvons que très rarement dans le cadre d'une expérience artistique. Cependant, ils sont intéressants pour la recherche et création, par exemple, dans le cadre d'applications pornographiques, c'est pourquoi nous les citons quand même : le **système sexuel**, le **système digestif** et le **système endocrinien**. Le système sexuel est évalué grâce à la pléthysmographie sexuelle, technique qui mesure « les variations du volume sanguin dans les organes sexuels<sup>57</sup> », par la pléthysmographie pénienne, qui mesure la variation de la conductance électrique au cours de la réponse érectile<sup>58</sup> et par la pléthysmographie vaginale qui mesure les variations de volume sanguin dans les parois vaginales à l'aide d'une sonde équipée d'une diode LED et d'une « photodiode sensible à la réflexion lumineuse<sup>59</sup> ». Il existe des tentatives d'interfaçage des émotions à un niveau sexuel, comme le démontre le jouet sexuel « The Lioness Vibrator<sup>60</sup> », mais ces derniers ne sont pas encore assimilés à des contenus artistiques.

Le système digestif est évalué par les techniques invasives d'endoscopie qui permettent d'observer les différents organes composant le système grâce à une caméra disposée au bout d'un tube, et d'effectuer des prélèvements (biopsie). Il peut aussi être mesuré par électromyographie – qui s'intéresse alors aux

57 CHARTIER Sylvain, *et al, op. cit.*, p. 176.

58 *Ibid.*, p. 177.

59 *Ibid.*

60 Ce jouet sexuel féminin est constitué de plusieurs capteurs physiologiques et musculaires qui permettent à une application de suivre l'activité sexuelle de la participante et notamment, de percevoir la montée et la fréquence de ses orgasmes. [<https://lioness.io/products/the-lioness-vibrator/>]

mouvements (contractions) des muscles gastriques – et grâce à l'évocation de symptômes subjectifs tels que les nausées, les vertiges et les vomissements.

Enfin, le système endocrinien, résident en partie dans le système digestif (par exemple, la thyroïde ou les glandes surrénales), peut être évalué en faisant des bilans hormonaux ponctuels (prises de sang, tests salivaires et tests urinaires).

### **Biais et conditions méthodologiques**

Il existe plusieurs biais et conditions méthodologiques à connaître pour employer correctement ces dispositifs de mesures physiologiques. D'abord, il est indispensable de faire attention au protocole expérimental (qu'il soit scientifique ou artistique), puisque les dispositifs et les techniques qui sont utilisés sur l'individu peuvent « provoquer des réactions émotionnelles parasites<sup>61</sup> », par exemple du stress. Pour pallier cela, dans le cadre artistique comme scientifique, il est fortement conseillé de commencer l'expérience par une « période d'habituation à l'environnement expérimental<sup>62</sup> ». Dans le cadre de l'expérimentation scientifique, il est recommandé que cette période dure environ « dix minutes<sup>63</sup> », *a priori* elle pourrait être plus courte dans le cadre de la création artistique pour trois raisons hypothétiques. Avant tout, l'individu adhère davantage au déroulé de l'expérience artistique qui peut déjà lui être, au moins en partie, familier : l'individu a déjà pu faire ce type d'expérience. De plus, des « sas de décompression<sup>64</sup> » ou des « étapes de plongée<sup>65</sup> » peuvent être réalisés par le concepteur-artiste dans l'objectif de rendre plus confortable la transition de l'environnement réel à l'environnement virtuel. Enfin, nous rappelons que dans le cadre artistique, la précision absolue de la mesure ne constitue pas une priorité, des Aides Logicielles Émotionnelles (AL Emo) doivent cependant être réalisées dans le but de faciliter le dialogue humain-œuvre sur le plan émotionnel et créatif.

61 GIL, Sandrine, *op. cit.*, p. 19.

62 PELLISSIER, Sonia, *op. cit.*, p. 169.

63 *Ibid.*

64 HOGUET, Benjamin, *La grammaire de réalité virtuelle: des histoires qui se racontent aux histoires qui se vivent*, Paris, Édition Dixit, Décembre 2017, p. 27.

65 Voir sur le sujet la thèse de Judith Guez (2015) qui porte sur les « schémas de plongée » expérimentés par l'individu lors de son passage de l'environnement réel à l'environnement virtuel. GUEZ, Judith, *Illusions entre le réel et le virtuel (IRV) comme nouvelles formes artistiques: présence et émerveillement*, Thèse, Université Paris VIII, 2015, p. 421-422.

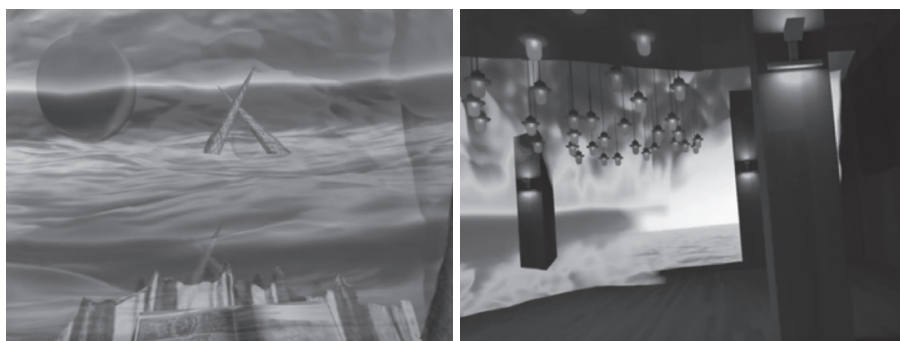


**Figure 47.** Rêveries à travers les époques, Judith Guez<sup>66</sup>, 2021, installation artistique et expérience de réalité virtuelle avec visiocasque.



**Figure 48.** Rêveries à travers les époques, Judith Guez (2021).

Légende : Environnement virtuel reproduisant l'environnement réel de la Bibliothèque nationale de France



**Figure 49.** Rêveries à travers les époques, Judith Guez (2021).

Légende : environnement virtuel se distinguant complètement de l'environnement réel (à gauche) et retour au réel (à droite).

66 Artiste lauréate 2019 de la résidence numérique BnF-Del Duca. Guillaume Bertinet: Co-création graphique, Co-produit par BnF, avec le soutien de la Fondation Simone et Cino Del Duca – Institut de France et de l'Académie de France à Rome – Villa Médicis.

Dans le cadre de l'expérimentation scientifique ou de la création d'applications et d'œuvres (notamment avec des I<sup>2</sup> sensorimotrices), il sera aussi bienvenu de contrôler la **posture** et l'**activité ambulatoire** de l'individu. En effet, certaines réactions physiologiques, l'augmentation du rythme cardiaque, de la sudation ou de la respiration par exemple, peuvent ne pas être imputées à un phénomène émotionnel – la fuite ou la course, les gestes reflexes, l'augmentation de la fréquence respiratoire ou du rythme cardiaque, par exemple – mais tout simplement à une activité physique (sportive). Aussi, un frottement sur la surface de la peau peut produire du bruit sur le signal physiologique. Pour limiter ce biais, les concepteurs-artistes peuvent utiliser des AL Emo – dans *Quand le cœur se serre* nous discriminons les données cardiaques qui présentent un écart important avec les données précédentes<sup>67</sup> – ou limiter certains déplacements et gestes dans l'expérience. En réalité virtuelle, le concepteur-artiste pourra privilégier l'utilisation du suivi de mouvement des mains (*hand tracking*) pour éviter que les manettes heurtent les capteurs cardiaques ou de sudation s'ils sont situés sur les doigts ou les poignets.

De manière générale, l'activité du système nerveux autonome peut être perturbée par des «traitements médicamenteux (notamment les anxiolytiques, les antihypertenseurs, etc.), le tabac et la nicotine, les excitants tels que la caféine, le stress, l'exercice physique, la période de digestion, le rythme circadien<sup>68</sup>». Aussi, il est important de signifier que les glandes sudoripares eccrines et apocrines sont «activées par des stimuli thermiques et émotionnels» et permettent ainsi la thermorégulation du corps : «elles sécrètent un liquide qui s'évapore à la surface du corps et le refroidit<sup>69</sup>». Attention donc à la température des lieux d'exposition ou d'expérimentation dans le cadre d'une expérience avec mesure électrodermale.

67 Celle-ci compare chaque nouvelle pulsation à un tableau ayant enregistré les dix pulsations précédentes et l'ignore si celle-ci dépasse un seuil plus grand que les données préalablement enregistrées (de 10% en moyenne). Quand une pulsation est ignorée, notre aide logicielle la remplace par la précédente pulsation. Par exemple, si nous avons dans notre tableau 94, 95, 97, 95, 92, 93, 96, 98, 100, 102 – la moyenne de ces valeurs étant de 97 environ – une pulsation sera ignorée si elle dépasse le seuil de 106 battements par minute. Si la pulsation mesurée est donc égale à 111, notre aide logicielle émotionnelle rejouera la pulsation précédente (102).

68 PELLISSIER, Sonia, *op. cit.*, p. 170.

69 *Ibid.*

## DISPOSITIFS DE MESURE FACIALE, VOCALE ET COMPORTEMENTALE

### La composante faciale

Afin de mesurer la **composante faciale** des émotions, il existe plusieurs méthodes de laboratoire telles que la Technique de Notation de l'Affect Facial (*Facial Affect Scoring Technique* ou *EAST*<sup>70</sup>) par enregistrement vidéo de Paul Ekman et Wallace Friesen et le Système de Codage des Actions Faciales (*Facial Action Coding System, FACS*), un dispositif d'inspection visuelle par codage des mouvements faciaux<sup>71</sup>. Quarante-six «unités d'action» du visage – aussi codées en fonction de leur «intensité», «dynamique» et «asymétrie<sup>72</sup>» – permettent de lire méthodiquement les expressions émotionnelles générées par la contraction et la décontraction des muscles du visage<sup>73</sup>. La composante faciale est aussi évaluée par **électro-oculographie, qui** mesure l'activité électrique de la rétine *via* des électrodes disposés vers l'œil et près du front ou près de l'oreille et par des électromyographies (EMG) faciales de surface ou invasives qui calculent le potentiel électrique des muscles (neurotransmetteurs). Ces derniers systèmes sont assimilés à des logiciels émotionnels qui appliquent «des filtres afin d'optimiser la mesure du signal EMG», réalisent «le montage bipolaire [mesure des électrodes]», «la segmentation autour des stimuli [...] en prenant en compte une période avant la stimulation (la ligne de base)» ainsi que «l'exclusion de certaines portions qui contiennent des artefacts<sup>74</sup>» pour calibrer le signal.

Dans le cadre artistique, les expressions faciales sont plus généralement évaluées par des dispositifs de suivi oculaire (oculométrie) qui s'appuient sur des systèmes fixes (images présentées sur des ordinateurs) ou mobiles (images présentées dans des lunettes, par exemple). Les oculomètres et les dispositifs de vidéo-oculographie, mesurent la position, le mouvement et les variations de la taille de la pupille grâce à une caméra et une lumière infrarouge, dans l'objectif de produire des images en série avec «des pupilles sombres et un contraste élevé avec l'iris<sup>75</sup>». La technique du reflet cornéen est une technique à «tête libre<sup>76</sup>» – la caméra est placée sous un écran – qui

70 EKMAN Paul, FRIESEN Wallace V., TOMKINS Silvan S, «Facial Affect Scoring Technique: A First Validity Study», *Semiotica*, vol. 3, Février 1971, p. 39.

71 KORB Sebastian, DELPLANQUE Sylvain, *op. cit.*, 2013, p. 183.

72 GIL, Sandrine, *op. cit.*, p. 18.

73 Il existe aussi une version du *FACS* pour les expressions faciales des nourrissons, le «Baby FACS», dans OSTER Harriet, ROSENSTEIN Diana, *Baby FACS: Analysing facial movements in infants*, Palo Alto, University of Palo Alto, 1993.

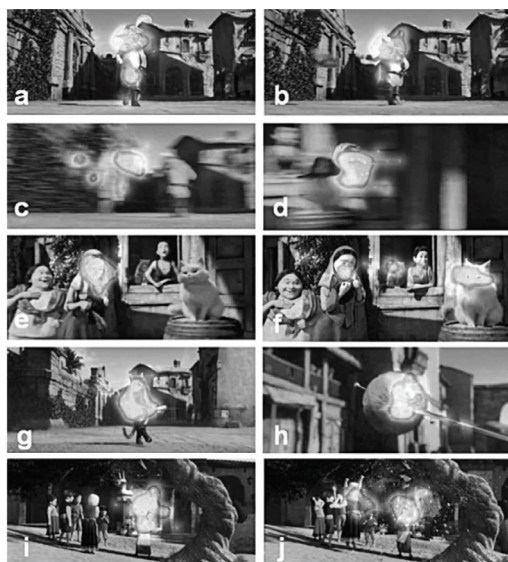
74 MAZOYER, Bernard, *op. cit.*, p. 188.

75 BALTERS Stephanie, STEINERT Martin, *op. cit.*, p. 1596.

76 RICHTER Aude, TERNAUX Michèle, «Les techniques d'enregistrement des mouvements des yeux», *Ens-Lyon*, 2017, [Site de PENS], [[http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/neurosciences/actualisation-des-connaissances/perception-sensorielle-1/vision/comprendre/VisionMarseille/pages\\_techniques](http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/neurosciences/actualisation-des-connaissances/perception-sensorielle-1/vision/comprendre/VisionMarseille/pages_techniques)]

reprend les principes de lumière infrarouge évoqués. Des logiciels analysent ensuite les différentes tailles de la pupille qu'ils comparent à l'information provenant des photographies ou vidéos. Il est important de souligner que les pupilles réagissent au niveau d'activation émotionnel de l'individu (*arousal*<sup>77</sup>) par des changements de taille. Puisque le spectateur est relativement statique lorsqu'il regarde un film, les dispositifs de suivi du regard humain sont particulièrement utilisés au cinéma pour l'étude du phénomène attentionnel chez le spectateur :

«Connaître le chemin de balayage d'un spectateur pendant une séquence de film est important car la courte durée de la plupart des plans signifie que le spectateur ne pourra assister qu'à une petite partie de la zone d'écran. Dans une salle de cinéma moyenne avec un écran de 40 pieds vu à une distance de 35 pieds, cette région au centre de notre regard ne couvrira qu'environ 0,19 % de la surface totale de l'écran. Étant donné que la durée moyenne des plans de la plupart des films produits aujourd'hui est inférieure à 4 secondes [...], les téléspectateurs ne pourront faire au maximum que 20 fixations couvrant seulement 3,8 % de la surface de l'écran. [...] Si les téléspectateurs ne prêtent pas attention aux éléments d'un plan qui transmettent les informations visuelles les plus importantes, le spectateur ne comprendra pas le plan, ce qui peut entraîner une confusion et un manque de plaisir<sup>78</sup>».



**Figure 50.** Comportement du regard de seize spectateurs durant la bande annonce de *Puss in Boots*, Dreamwork Animation, 2011, film, selon Tim Smith. Légende : Les cartes de chaleur (cercles clairs) représentent les points d'intérêt du regard sur l'écran.

77 BALTERS Stephanie, STEINERT Martin, *op. cit.*, p. 1596.

78 SMITH, Tim J., «Watching You Watch Movies: Using Eye Tracking to Inform Cognitive Film Theory», dans Arthur P. Shimamura (dir.), *Psychocinematics: Exploring Cognition at the Movie*, Oxford, Oxford University Press, 2013, p. 169.

Ainsi, l'oculométrie, qui a été progressivement intégrée dans les visiocasques par exemple, pourra être un bon outil pour la production d'I<sup>2</sup> émotionnelles. Dans le cadre de la réalité virtuelle, plusieurs solutions existent dans le cadre d'un suivi oculaire (*eye-tracking*) tels que les visiocasques Varjo (Varjo VR-3, Varjo XR-3, Varjo Aero) qui s'accompagnent pour la création, de logiciels compatibles avec Unity, Unreal Engine, OpenXR, Autodesk VRED et ainsi de suite. Le HTC VIVE Pro Eye est aussi disponible avec le logiciel Pro Lab de Tobii qui facilite l'accès et l'utilisation aux paramètres de suivi oculaire dans trois cadres la création d'expérience, l'enregistrement des données oculaires, et l'analyse des données et permet aussi de combiner et synchroniser le suivi oculaire avec d'autres types de capteurs : des électroencéphalogrammes (EEG), des capteurs de conduction cutanée (AED) et des électrocardiogrammes (ECG).

Pour les concepteurs-artistes, l'oculométrie permettra d'interagir *via* le regard (la position de l'œil sur l'écran), de déclencher des événements ou des points d'action. Elle permet de savoir ce que le participant regarde et inversement, ce qu'il ne regarde pas. Ce sont des informations précieuses qui permettent d'élaborer des **cartes de chaleur** et des **cartes d'occultation**, désignant respectivement les zones les plus regardées et les zones ignorées par l'individu, ainsi que les **cartes de chemin** (ou *scanpath*<sup>79</sup>) qui matérialisent les différents trajets du regard en séquence. Par cette étude du regard, l'oculométrie permet d'optimiser la disposition des éléments visuels en fonction des zones d'attention, selon deux objectifs. Le premier est ergonomique et se situe en priorité par rapport à l'expérience du participant : le concepteur-artiste doit faciliter la lecture de l'environnement virtuel<sup>80</sup>. Le second est économique, il s'intéresse à l'optimisation du calcul des images ou de l'environnement à 360° et en 3D dans l'objectif d'en augmenter la définition globale. À ce titre, un logiciel calcule les zones de haute résolution à l'endroit où se pose la fovéa<sup>81</sup>. Le « rendu fovéal » caractérise donc un objectif technique qui souhaite se rapprocher de la vision humaine « naturelle ». L'usage de dispositifs de suivi des yeux peut améliorer le processus de création et d'interprétation des images, indépendamment de ce qui a été précité. Dans le cadre plus large de l'expérience patrimoniale par exemple, des recherches sont effectuées avec des systèmes de suivi des yeux ambulatoires (lunettes), dans le but de comprendre le regard des visiteurs et ainsi d'améliorer

79 CLAY Viviane, KÖNIG Peter, KOENIG Sabine U., «Eye Tracking in Virtual Reality», *Journal of Eye Movement Research*, vol. 12, 2019, p. 12.

80 Ce point de conception de niveau de jeu (*level design*) ou de scénographie d'expérience de réalité virtuelle sera traité au chapitre 6.

81 L'espace périphérique a une faible densité dans l'espace rétinien, il ne nécessite pas forcément cette haute résolution.

les processus de médiation. À ce titre, le projet *Van Gogh Museum Eye-tracking*<sup>82</sup> étudie la manière dont les visiteurs apprécient l'art pictural dans un contexte se rapprochant «de la vie réelle», c'est-à-dire d'après des configurations muséales, plus «naturelles» que celles produites en laboratoire<sup>83</sup>.

### La composante vocale

Sans contact réel et immédiat entre les individus, **la composante vocale** permet d'obtenir des informations sur le «**genre de la personne qui parle**», «**son âge**», «**son milieu socio-économique**», son «**groupe ethnique**», sa «**personnalité**», son «**statut dans les petits groupes**» et ses «**états affectifs**»<sup>84</sup>. En sus, dans toutes les cultures, les émotions provoquent des changements dans la composante vocale des expressions<sup>85</sup>. Ces modifications sont notamment engendrées – la recherche sur le sujet demanderait à être approfondie – par «la sécheresse de la bouche ou du larynx», un «rythme respiratoire qui accélère» ou encore par des «tremblements musculaires»<sup>86</sup>. Par exemple, Tom Johnstone et Klaus R. Scherer étudient la prosodie de la voix en fonction des émotions de base : dans ces cas de figure, la colère provoque une augmentation de l'intensité et de la fréquence fondamentale, à l'inverse, la tristesse provoque une diminution de ces valeurs<sup>87</sup>. La composante vocale (verbale et non-verbale) est enregistrée sous la forme d'échantillons vocaux, de discours ou de conversations, par des microphones qui s'intéressent aux propriétés acoustiques du son (phonation et articulation<sup>88</sup>) et en particulier de la voix humaine, que nous pouvons distinguer sous quatre formes :

- **Des paramètres de temps** : débit de parole (nombre de syllabes par unité de temps en comptant les pauses), niveau d'articulation (nombre de syllabes

82 –, «Looking through the eyes of museum visitors – The Van Gogh Museum Eye-Tracking Project», *Department of Experimental and Applied Psychology*, publié en 2022, consulté le 21 Mars 2021, [http://www.vupsy.nl/van-gogh-museum-eye-tracking-project/]

83 *Ibidem* et WALKER Francesco, BUCKER Berno, ANDERSON Nicola C., SCHREIJ Daniel, THEEUWES Jan, «Looking at paintings in the Vincent Van Gogh Museum: Eye movement patterns of children and adults», *PLoS ONE*, vol. 12, 21 Juillet 2017, [https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178912]

84 KAPPAS Arvid, HESS Ursula, SCHERER Klaus R, «Voice and emotion», dans R. S. Feldman, B. Rimé (dirs.), *Fundamentals of nonverbal behaviour*, Cambridge, Cambridge University Press, 1991, p. 218.

85 WALLBOOT Harald G., SCHERER Klaus R, «How universal and specific is emotional experience? Evidence from 27 countries on five continents», *Social Science Information*, vol. 25, 1986. p. 763-795.

86 KAPPAS Arvid, HESS Ursula, SCHERER Klaus R., *op. cit.*, p. 204.

87 SCHERER Klaus R., JOHNSTONE Tom, «Vocal communication of emotion», dans Michael Lewis, Jeannette Haviland-Jones, (dirs.), *The Handbook of emotion*, New York, Guilford Press, 2000, p. 227.

88 Le terme «phonation» fait référence à «la production d'ondes sonores, qui sont ensuite modifiées ou filtrées par des processus articulatoire», KAPPAS Arvid, HESS Ursula, SCHERER Klaus R., *op. cit.*, p. 205.

par unité de temps, sans compter les pauses) ainsi que la fréquence et la durée des pauses<sup>89</sup>.

- **Des paramètres d'amplitude** : qui sont liés à «l'intensité de la pression acoustique des ondes lorsqu'elles se propagent dans l'air<sup>90</sup>» (perception du volume). Ces paramètres sont perçus comme le volume sonore et décrivent la force ou l'intensité d'un son.
- **Des paramètres de fréquence** : qui incluent la fréquence fondamentale correspondant à «la fréquence de vibration glottale [...] étroitement liée à la hauteur perçue d'un énoncé<sup>91</sup>» et le pitch qui correspond à la fréquence fondamentale ainsi que la qualité de la voix. Il permet de distinguer les sons graves des sons plus aigus.
- **Des paramètres spectraux** : qui combinent à la fois l'amplitude et la fréquence. Ils incluent la résonance, qui se produit sur une seule fréquence localisée (spécifique) ou sur une fréquence principale à laquelle s'ajoutent les fréquences voisines, autrement nommées les «formants», et se caractérisent par «leur fréquence, leur amplitude au pic et leur bande passante<sup>92</sup>».

Enfin, l'étude de la prosodie peut être élargie à l'évaluation de l'inflexion de la voix et la modulation, autrement dit le rythme, les accents et l'intonation. Les microphones dédiés à la détection de la voix peuvent aussi servir à la détection du souffle comme nous l'avons vu au chapitre 2 avec l'œuvre *Les Pissenlits* de Edmond Couchot, Michel Bret et Marie-Hélène Tramus : les participants soufflent sur un microphone afin de détacher les akènes des fleurs (CAVE).

### La composante comportementale

La **composante comportementale** *stricto sensu*, est certainement la composante qui dispose du plus grand nombre de dispositifs de mesure. Toutefois, ces derniers sont surtout utilisés dans le cadre d'un interfaçage sensori-moteur, visant à faciliter et améliorer les modes opératoires de l'utilisateur dans l'environnement virtuel. Celui-ci se passe donc dans un grand nombre de cas, d'une réflexion sur les I<sup>2</sup> émotionnelles. Elle regroupe **l'activité musculaire, la posture, les déplacements et les gestes** (approche proprioceptive, comprenant la proprioception musculaire), sans oublier **le sens du toucher** qui est composé

89 *Ibid.*, p. 212.

90 *Ibid.*

91 *Ibid.*

92 *Ibid.*

de deux aspects sensoriels : un toucher **actif** qui « explore manuellement l'environnement<sup>93</sup> » et un toucher **passif** lorsque la peau est touchée<sup>94</sup>.

Dans le domaine de la santé, la composante comportementale est évaluée par électromyographie invasive – une aiguille est placée sous la peau, en contact direct avec le muscle – ou non-invasive à l'aide d'électrodes disposées à la surface de la peau (EMG) : ainsi, les EMG mesurent l'activité électrique du « fonctionnement musculaire<sup>95</sup> ». La composante comportementale peut aussi être évaluée grâce à un accéléromètre tridimensionnel (ceinture), qui mesure « l'amplitude et la direction de l'accélération appropriée dans les plans x, y et z<sup>96</sup> » à l'aide d'algorithmes appliquant des filtres de fréquences (passe-haut ou passe-bande<sup>97</sup>). Elle est aussi évaluée grâce à des podomètres qui mesurent le nombre de pas et la distance parcourue. Quand elles sont associées à un GPS, certaines applications permettent aussi de calculer la vitesse, les trajectoires empruntées par l'individu et la moyenne de sa fréquence cardiaque, comme nous le voyons à travers des applications dédiées au sport telles que Strava<sup>98</sup>.

Enfin, la composante comportementale peut être mesurée par des dispositifs d'inspection visuelle par codage des postures du corps et des gestes. Par exemple, Mark Coulson génère par ordinateur des mannequins sous trois angles de vue « de face », « de côté », « de derrière<sup>99</sup> », à partir des expressions posturales associées aux six émotions de base de Paul Ekman<sup>100</sup>. Le système de codage des actions corporelles et des postures (ou modèle *BAP*, *Bodily Action and Posture coding system*) présente quant à lui « 151 représentations de 17 émotions encodées par 10 acteurs (5 hommes)<sup>101</sup> », aussi configurées en termes de valence et d'excitation. Pour analyser les différentes représentations émotionnelles, les chercheurs utilisent

93 FUCHS, Philippe. *op. cit.*, 2018, p. 90.

94 *Ibid.*

95 KORB Sebastian, DELPLANQUE Sylvain, *op. cit.*, p. 181.

96 BALTERS Stephanie, STEINERT Martin, *op. cit.*, p. 1595-1596.

97 Algorithme IMA (Intégrales du Module des valeurs de sortie de l'Accéléromètre) dans BOEREMA Simone T., SCHAAKE L., VAN VELSEN Lex, TONIS T. M., « Optimal Sensor Placement for Measuring Physical Activity with a 3D Accelerometer », *Sensors*, vol. 14, 2014, p. 3192.

98 [<https://www.strava.com/>]

99 DAEL Nele, MORTILLARO Marcello, SCHERER Klaus R., « The Bodily Action and Posture Coding System (BAP): Development and Reliability », *Journal of Nonverbal Behavior*, vol. 36, 2012, p. 128.

100 COULSON, Mark, « Attributing emotion to static body postures: recognition accuracy, confusions, and viewpoint dependence », *Journal of Nonverbal Behavior*, vol. 28, 2004, p. 121.

101 DAEL Nele, MORTILLARO Marcello, SCHERER Klaus R. *op. cit.*, p. 101.

ensuite un logiciel «de rendu vidéo et de codage à verrouillage temporel<sup>102</sup>» (logiciel Anvil).

La plupart des instruments de mesure ne concernent qu'un seul versant expressif, facial, vocal ou comportemental humain, à l'exception peut-être de quelques dispositifs d'inspection visuelle tel que le Multimodal Emotion Recognition Test (MERT) qui souhaite étudier les versants expressifs du visage, de la voix et du corps simultanément afin de mettre à jour en priorité, les différences interindividuelles dans la reconnaissance des émotions<sup>103</sup>.

Dans le cadre de la réalité virtuelle, le corps sensori-moteur, cognitif et émotionnel du sujet est présent dans l'environnement réel et en même temps transplanté dans son extension virtuelle, son **avatar** (s'il en possède toutefois un). Il est donc présent à deux endroits différents<sup>104</sup>, perçus par lui «alternativement<sup>105</sup>» et qui dialoguent grâce aux interfaces comportementales telles que les systèmes de suivi de mouvements. Les limites de l'espace interfacé (largeur de la zone et la hauteur du sol) et par extension, les limites de l'interfaçage comportemental<sup>106</sup>, sont ensuite dessinées en réalité mixte *via* les logiciels de tracking (Steam VR ou le *guardian* Oculus, par exemple) qui traitent l'information issue du suivi de mouvement. Ainsi l'utilisateur peut configurer ses futurs déplacements et gestes en fonction des obstacles présents dans l'environnement réel ce qui lui permettra d'obtenir une expérience plus immersive et plus sécurisée.

---

102 *Ibid.*, p. 108.

103 BÄNZIGER Tanja, SCHERER Klaus, GRANDJEAN Didier, «Emotion recognition from expressions in Face, Voice, and Body: The Multimodal Emotion Recognition Test (Mert)», *Emotion*, vol. 9, Octobre 2009, p. 692.

104 Il s'agit du concept de «couplage structurel» évoqué par RABOISSON, Nathanaëlle, «Esthétique d'un art expérientiel: l'installation immersive et interactive», Thèse, Université de Paris VIII, 2014, p. 117.

105 La conscience fonctionne *via* un «goulot d'étranglement»: les informations arrivent l'une après l'autre jusqu'à la conscience. DEHAENE, Stanislas. *op. cit.*, p. 58.

106 Ces limites spatiales constituent une problématique technique pour les concepteurs-artistes puisqu'elles limitent le comportement du participant en lui-même.



**Figure 51.** En arrière-plan et en noir et blanc, la pièce dans laquelle se trouve l'individu sur laquelle est superposée une fenêtre d'affichage en couleur (*head-up display* ou HUD) demandant au participant de dessiner sa zone de jeu.

La composante comportementale englobe aussi le **toucher** et les **gestes**. L'extrémité des doigts est particulièrement sensible puisqu'elle possède deux-mille cinq cent récepteurs au centimètre carré<sup>107</sup>. Cela explique la profusion d'interfaces haptiques et tactiles se concentrant sur cette zone particulièrement. Le toucher en tant que sens extéroceptif et proprioceptif, est sollicité grâce à des interfaces tactiles et des interfaces à simulation de mouvement – sièges et cabines, tels que le système Birdly utilisé dans le cadre de plusieurs expériences de réalité virtuelle afin de simuler un état de vol. Il est aussi sollicité *via* des interfaces motrices – «de commande ou d'interaction<sup>108</sup>» – telles que les souris, les joysticks, les manettes, les gants avec suivi de mouvement des doigts, les tapis roulants (ou interface de marche). Enfin, il est impacté par des interfaces sensori-motrices, autrement nommées interfaces haptiques ou à retour d'effort (des gants à retour d'effort, par exemple), puisqu'elles réunissent à la fois les perceptions tactiles de la main et les perceptions mécaniques des articulations, tendons et muscles, permettant donc une perception «plus réaliste<sup>109</sup>» du monde virtuel.

Dans le cadre artistique, les technologies de capteurs de mouvements de la main et des doigts comme Leap Motion ou de déplacements et gestes comme les technologies LiDAR sont souvent utilisées pour générer un interfaçage plus intuitif et fluide entre le participant et l'œuvre : par exemple dans *Corel Painter Freestyle*, un capteur Leap Motion est utilisé pour peindre (*air painting*<sup>110</sup>). Ces capteurs de mouvements sont utilisés dans le domaine du jeu vidéo *via* des dispositifs comme la *kinect* (microsoft :

107 FUCHS, Philippe. *op. cit.*, 2018, p. 59.

108 *Ibid.*, p. 139.

109 *Ibid.*, p. 143.

110 SUTTON, Jeremy, « Air painting with Corel Painter Freestyle and the leap motion controller: a revolutionary new way to paint! », *Conference ACM SIGGRAPH 2013 Studio Talks*, Juillet 2013.

Windows, Xbox 360 et Xbox One) et des expériences vidéoludiques comme *Kinect Star Wars* (Terminal Reality, Lucasfilm Games, High Voltage Software, Panic Button Games, 2012, jeu vidéo et kinect), dans lequel le joueur utilise ses mains pour manier le sabre laser et conduire des vaisseaux, par exemple.

Une version augmentée de ce type de détecteur de mouvements, le Stratos Explore, renvoie des effets tactiles générés par des ultrasons à l'utilisateur. Quand l'individu sonde manuellement l'espace 3-D situé au-dessus de la palette Stratos Explore, celle-ci génère des points de pression dans «l'air», pouvant simuler jusqu'à des textures. Les brassards Myo (*gesture control armband*) sont aussi des technologies EMG qui calculent l'activité électrique des muscles ainsi que les mouvements du bras afin de les retranscrire à distance, dans l'environnement virtuel. Cette interaction peut prendre des formes pseudo-réalistes – c'est-à-dire qu'elle reproduit les schèmes comportementaux humains dans l'environnement virtuel – symboliques – par exemple, fermer la main permettrait de quitter une page internet – ou irréalistes. D'autres dispositifs existent, qui sont aussi plus imposants (non ambulatoires) et plus chers, comme les tapis de courses connectés, les exosquelettes, et servent à reproduire l'activité physique humaine dans les environnements virtuels. Ces interfaces motrices peuvent mesurer l'activité émotionnelle mais ne permettent pas de répondre artistiquement à celle-ci, elles n'ont pas été conçues dans cet objectif (il s'agit davantage d'interfaces de commande).

**Tableau 11.** Résumé des méthodes de mesure et des méthodes d'analyse des composantes comportementale (faciale, vocale, musculaire, posturale, proprioceptive) dans le cadre artistique.

Composante comportementale	Dispositifs de mesure	Méthodes d'analyse
Faciale	Dispositifs d'inspection visuelle (FACS) Dispositifs de suivi oculaire (oculométrie)	Suites de logiciels d'oculométrie (Tobii, Varjo, etc.)
Vocale (prosodie)	Microphone	Logiciels d'analyse acoustique
Activité musculaire, Posture, déplacements, gestes (kinesthésie et proprioception)	Interfaces motrices et sensori-motrices OU (en détail) Interface de suivi des mouvements et gestes (interne ou externe) Électromyographie (EMG) Podomètre et Podomètre + GPS Accéléromètre tridimensionnel Dispositifs d'inspection visuelle ...	Logiciels d'analyse de rendu vidéo et de codage à verrouillage temporel (Anvil, par exemple) Logiciels de suivi des mouvements et gestes (Steam VR, par exemple) ...
Multi-composantes	The Multimodal Emotion Recognition Test (MERT)	

Dans le cadre artistique, les interfaces tactiles de perception cutanée utilisent surtout la vibration des manettes, pour transmettre des sensations, voire des émotions à l'utilisateur. Par exemple, dans *Winter Break*, nous avons pu simuler la corde d'un arc en train de se tendre : plus le participant crée un écart entre ses deux manettes (*oculus touch*), plus la fréquence vibratoire augmente et inversement, plus il détend la corde, plus la fréquence vibratoire ralentit.

Des interfaces sensorielles ou sensori-motrices peuvent donc exploiter la dimension affective humaine : nous nommons ces effets « émotions tactiles » ou « émotions haptiques » dans le cas où l'interface exploite aussi la proprioception musculaire de l'utilisateur (mais cela est moins fréquent). Selon nous, ces « émotions tactiles » constituent un enjeu important de la future recherche et création (artistique, applicative) portant sur les environnements virtuels sociaux qui constituent majoritairement les metavers – des mondes virtuels numériques et permanents, dans lesquels les usagers sont immergés corporellement et peuvent interagir – puisqu'elles constitueront une forme du dialogue émotionnel à l'œuvre entre les usagers malgré la distance. En effet, les interfaces devront aussi répondre en exploitant des canaux et des moyens d'expression (énonciatif<sup>111</sup>, par exemple) capables d'envisager un dialogue émotionnel sous la forme numérique. Nous pouvons voir un exemple de ce type à travers les « icônes tactiles » (*tactons* ou *smiley* tactiles) de Stephen Brewster et Lorna Margaret Brown<sup>112</sup>. Les « tactons » bénéficient d'une véritable fonction haptique permettant de « voir des images avec les mains ». Les icônes tactiles utilisent « la fréquence », « l'amplitude », « la forme de la vague » (*waveform*) et « la durée » vibratoire pour générer un signifiant complexe capable de remplir la fonction d'un *emoji*<sup>113</sup> dans les environnements extéroceptifs. Ils sont conçus à partir des systèmes de langage des interfaces *chat* et sont donc capables de délivrer un message émotionnel : « les tactons sont des messages structurés et abstraits qui peuvent être utilisés pour communiquer des concepts complexes aux utilisateurs de manière non visuelle<sup>114</sup> ».

111 L'utilisateur devra ainsi apprendre un *signifiant* – une représentation formelle du signe – avant d'en comprendre le *signifié* émotionnel, c'est-à-dire le concept, le sens associé à la figure.

112 Il existe aussi d'autres méthodes comme les « hapticons » de Mario Enriquez et Karon MacLean : « Nous définissons les icônes haptiques, ou "hapticons", comme de brèves forces programmées appliquées à un utilisateur *via* une interface haptique, avec le rôle de communiquer une idée simple d'une manière similaire aux icônes visuelles ou auditives ». Ces derniers diffusent une force directionnelle *via* un bouton tenu par l'individu en fonction du message (*hapticon*) choisi à partir d'un logiciel répertoriant plusieurs informations (formes) haptiques, ENRIQUEZ Mario J., MACLEAN Karon E., « The haptic editor: a tool in support of haptic communication research », *Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems 2003 (HLAPTICS 2003)*, Mars 2003, p. 356-362, p. 356.

113 BREWSTER Stephen, BROWN Lorna Margaret, *op. cit.*, p. 16-17.

114 *Ibid.*, p. 17.

Pour véhiculer ces informations émotionnelles en réalité virtuelle, les concepteurs-artistes utilisent donc des interfaces sensorielles ou à retour d'effort, ainsi que des objets réels colocalisés dans l'environnement virtuel (des « props<sup>115</sup> »). Avec les « props », la restitution du toucher est *a priori* « réaliste », puisqu'elle opère par « cohérence visuo-tactile<sup>116</sup> », qui suppose que la forme et la texture de l'image perçue visuellement correspondent à ce qui est aussi senti par l'utilisateur. La restitution réaliste des « props » opère aussi par « cohérence visuo-haptique », dans le cas où l'utilisateur ressent la force d'une interaction avec un objet ou autrui au moment où ceux-ci entrent visuellement en contact avec lui (implication de la proprioception musculaire). En définitive, les « props » sont des objets réels que l'utilisateur peut sentir mais que les concepteurs-artistes ne peuvent pas faire varier émotionnellement. Les **émotions tactiles** ou plus largement haptiques, peuvent être conçues de manière irréaliste par les concepteurs-artistes<sup>117</sup>. « Irréaliste » ou « non-naturelle », signifient que la restitution du toucher est réalisée grâce à des « incohérences sensori-motrices<sup>118</sup> » qui, dans le cas présent, sont plutôt bénéfiques à la création artistique. Ces incohérences peuvent être visuo-tactiles, auquel cas elles génèrent « des images tactiles » donnant l'illusion de percevoir la rugosité d'une surface, représentée sur une image<sup>119</sup>. Elles peuvent aussi être visuo-haptiques, en permettant « l'illusion de retour d'effort sans interface haptique<sup>120</sup> » ou « visuo-manuelles<sup>121</sup> » dans le cas où « la main de l'utilisateur est mal [ou pas] localisée par rapport à la vision de la main dans le visiocasque ». Cette dernière incohérence sensori-motrice est particulièrement utilisée dans le cadre de la réalité virtuelle puisqu'elle permet à l'utilisateur d'effectuer des actions virtuelles comportementales irréalistes par « téléopération » (opérations à distance).

- En outre, si nous extrapolons le sujet des « émotions tactiles », nous pouvons aussi considérer qu'il existe des *stimuli* – des mots, des regards, par exemple –

115 FUCHS, Philippe, *op. cit.* p. 227.

116 *Ibid.*, p. 183.

117 Les recherches expérimentales sur ces incohérences visuo-tactiles sont notamment effectuées par l'usage de « membres en caoutchouc » ou « membres virtuels ». Dans ces configurations, le bras (par exemple) de l'utilisateur est caché à sa vue et un bras factice est mis en évidence. L'expérimentateur touche alors simultanément le bras réel et le bras factice de l'utilisateur : au bout de quelques minutes celui-ci associe la sensation de contact au bras factice qui est visible par lui. Voir, les études sur les membres virtuels (bras) et la perception de la température, dans MARTINI Matteo, PEREZ-MARCOS Daniel, SANCHEZ-VIVES Maria V, « What color is my arm? Changes in skin color of an embodied virtual arm modulates pain threshold », *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 7, article 438, 2013, p. 1-5. Voir, les études sur les membres virtuels étendus au reste du schéma corporel, dans SLATER Mel, PEREZ-MARCOS Daniel, EHRSSON Henrik H., SANCHEZ-VIVE Maria V, « Inducing illusory ownership of a virtual body », *Frontiers in neuroscience*, vol. 3, 2009, p. 214-220.

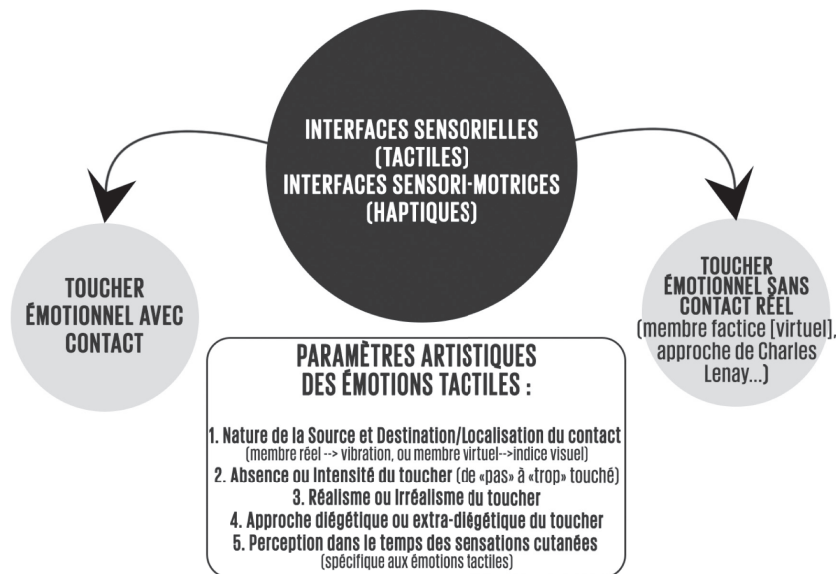
118 FUCHS, Philippe, *op. cit.*, p. 183.

119 *Ibid.*

120 *Ibid.*

121 *Ibid.*, p. 187.

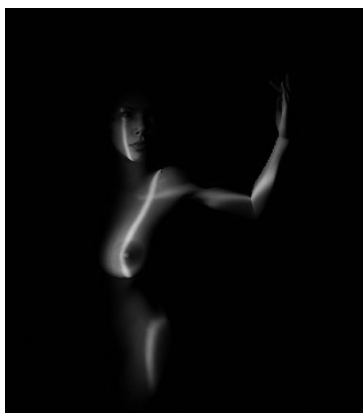
«qui touchent» émotionnellement, sans pour autant que l'individu soit en contact d'un objet ou d'une autre personne. L'émotion «touchante» suppose «une force» qui dirige l'attention et met en mouvement les usagers («*e-motion*») vers l'objet ou vers la personne qui en est à l'origine. Dès lors, elle tend à rompre avec la distance qui la caractérise pourtant : ce qui est «touchant» est par définition ce qui traduit un contact «interpersonnel et émouvant<sup>122</sup>».



**Figure 52.** Recherche sur les paramètres émotionnels des interfaces tactiles et haptiques (dessin de l'auteure).

Au festival Recto VRso de 2023, nous avons fait une expérience très intéressante. Nous devons découvrir et explorer le corps nu d'un personnage virtuel en utilisant nos mains. En effet, nos mains projetaient des faisceaux de lumière dans l'obscurité, révélant ainsi les formes, plus ou moins intimes, du personnage. Ce personnage a été reconstruit par Cédric Plessiet à partir du corps, de la voix et des gestes de Kelly Mezino, afin de retranscrire ce lien intime regardeur/regardé du modèle vivant. Il y avait ici un vrai enjeu de «contact à distance». Nous avons l'impression de «toucher» ce corps, pas seulement du regard, mais aussi avec nos mains qui interagissaient, d'une certaine manière, avec lui.

122 À cet égard, Charles Lenay se distingue des approches internalistes de l'émotion — les états du corps au cours d'une séquence émotionnelle, par exemple — pour supposer l'existence d'une approche interactive, externaliste de l'émotion : l'émotion «touchante» est ici comprise à travers les mouvements et la perception, c'est-à-dire à travers un contact «à distance», dans LENAY, Charles, «C'est très touchant. La valeur émotionnelle du contact», *Intellectica. Revue de l'Association pour la Recherche Cognitive*, n°53-54, 2010, p. 360.



**Figure 53.** *Lines* de Cédric Plessiet et Kelly Mezino (2022-2023), expérience de réalité virtuelle.

### **Biais et conditions méthodologiques requises**

Les dispositifs de mesure et d'analyse comportementales contiennent aussi leur lot de biais et de conditions méthodologiques requises. Nous savons, notamment d'après les études qui portent sur l'aspect social et culturel des émotions, que l'absence d'expressions corporelles ou du visage n'implique pas forcément une absence d'émotion ressentie (on ne rit pas aux enterrements, par exemple). Ce facteur est problématique, notamment dans le cadre des mesures faciales par inspection visuelle qui sont incapables de relever les mouvements imperceptibles à l'œil. Ce biais pourrait être particulièrement opérant dans le cadre des pratiques de mesure faciale (détection des expressions faciales par les caméras + IA) en réalité virtuelle puisque l'avatar de l'individu pourrait théoriquement présenter des émotions en réalité virtuelle qui sont différentes de celles éprouvées par l'utilisateur. Dans le cas des dispositifs oculométriques, il faudra aussi faire attention aux dimensions de la pupille qui peuvent varier en fonction de «l'âge, du niveau d'illumination rétinienne, de l'adaptation de la pupille basée sur la vision de près et de loin (*the near effect*)<sup>123</sup>». La composante vocale est impactée par le fait qu'il existe des «différences interindividuelles dans la capacité à représenter vocalement les émotions<sup>124</sup>».

123 BALTERS Stephanie, STEINERT Martin, *op. cit.*, p. 1596.

124 *Ibid.*

## DISPOSITIFS DE MESURE DU SENTIMENT SUBJECTIF

### Tests papier-crayon

La mesure du **sentiment subjectif** est verbale et a lieu *a posteriori* du phénomène émotionnel. Elle s'effectue grâce à des **méthodes d'auto-évaluation**, autrement nommées **papier-crayon** en référence au processus qu'elles impliquent. À titre d'exemple, nous retrouvons «l'échelle des émotions différentielles» de Carroll Izard (ou *Differential Emotions Scale, DES*). Par ce test, les participants évaluent leurs éprouvés émotionnels à partir de trente adjectifs basés sur les émotions fondamentales de Carroll Izard, et d'une échelle en cinq points qui permet d'expertiser les différents états mentaux de l'individu. Les «cartes corporelles des émotions<sup>125</sup>» développées par Nummenmaa et *alii* élaborent quant à elles une méthode catégorielle d'auto-rapport topographique. Les participants (701) doivent colorier par-dessus des «corps vierges», les sensations ressenties dans le système somatosensoriel lorsqu'ils sont confrontés à des «mots émotionnels, des histoires, des films ou des expressions faciales<sup>126</sup>».

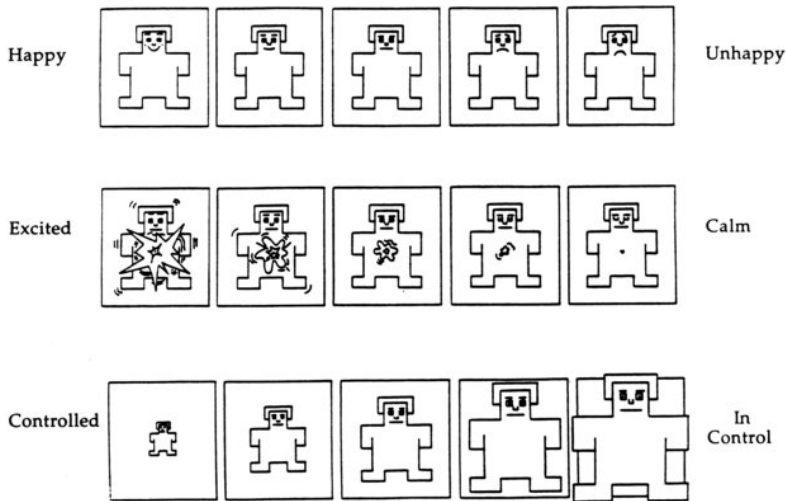
«L'échelle inventaire de l'humeur<sup>127</sup>» éditée par John D. Mayer et Yvonne Gaschke (*Brief Mood Inventory Scale* ou *BMIS*), utilise une liste d'adjectifs (16) associée à une échelle allant de un à quatre points afin d'évaluer l'humeur selon la valence plaisant-déplaisant. Enfin, «l'échelle de l'affect négatif et positif» ou questionnaire *PANAS*<sup>128</sup> (*Positive and Negative Affect Scale*) mesure l'humeur des individus en leur proposant d'estimer sur une échelle d'un à cinq (un valant «jamais» et cinq valant «toujours») la fréquence à laquelle une émotion est éprouvée. Ce questionnaire comprend dix *items* positifs et dix *items* négatifs qui, à terme, permettent de déterminer un score d'affects.

125 Voir: NUMMENMAA Lauri, GLERIAN Enrico, HARI Riita, HIETANEN Jari K., *op. cit.*, p. 646-651.

126 *Ibid.*, p. 646.

127 MAYER John D., GASCHKE Yvonne N., «The experience and meta-experience of mood», *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 55, 1988, p. 102-111.

128 WATSON David, CLARK Lee A., TELLEGEN Auke, «Development and Validation of Brief Measures of Positive and Negative Affect-the Panas Scales», *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 54, 1988, p. 1063-1070.



**Figure 54.** échelle du «Mannequin d'Auto-Évaluation» ou Self-Assessment-Manikin (SAM).

Trois facteurs dimensionnels régissent, en théorie, l'approche dimensionnelle des émotions : la valence, l'activation et la dominance (voir le chapitre 2 pour plus de détail). Deux questionnaires approfondissent les dimensions de valence, d'activation et de dominance en même temps : le PAD («Pleasure-Arousal-Dominance») et la «Self-Assessment Manikin Scale» (SAM). Elle est «la plus utilisée» car elle n'est pas «verbale» mais «graphique<sup>129</sup>». Ainsi elle palie les problématiques liées aux choix de certains «items verbaux» utilisés dans les autres questionnaires. Le choix d'adjectifs plutôt que d'autres influencent dès l'origine l'expérimentation (c'est un des biais principaux de ce genre de questionnaire). Elle palie aussi la difficulté «de traduire des échelles émotionnelles verbales de manière fidèle» et ainsi de pouvoir effectuer des «comparaisons interculturelles».

**Tableau 12.** Résumé des méthodes de mesure et des méthodes d'analyse des composantes subjectives.

Composante subjective	Dispositif de mesure/analyse
Sentiment-conscient	DES mDES
Humeurs	BMIS PANAS
Modèles dimensionnels	PAD SAM
Modèle taxonomique	Topographie des émotions

129 Gil, Sandrine, *op. cit.*, p. 17.

## Biais et conditions méthodologiques

Il existe deux biais principaux qui s'appliquent à la pratique de l'auto-évaluation. Un premier biais est individualisant, il suppose que « l'identification » et la « verbalisation » des émotions dépendent des capacités de chaque sujet (sachant que 5 à 15% de la population serait alexithymique<sup>130</sup>). Pour pallier cela, un test graphique plutôt que verbal est recommandé. Le second biais fait référence à la latence, à la médiateté qu'imposent les dispositifs papier-crayon. Ce « biais d'attente », suppose que le sujet ne donne pas une réponse immédiate à la question, mais plutôt une réponse réfléchie, évaluée, qui peut se conforter à l'impératif de vouloir donner la « bonne » réponse<sup>131</sup>.

## CONCLUSION

### En résumé pour ce chapitre

- Le **système neuronal** est mesuré par électroencéphalographie, par des enregistrements intracérébraux, par magnétoencéphalographie, *via* imagerie par résonance magnétique fonctionnelle cérébrale. Nous supposons que son activité suscite, avec l'activité cardio-vasculaire et respiratoire, le plus d'intérêt dans le cadre de la création artistique.
- Le **système cardio-vasculaire**, première horloge du corps, est mesuré par la pléthysmographie cardiaque, les électrocardiogrammes, les tensiomètres et les oxymètres de pouls.
- Le **système respiratoire**, deuxième horloge du corps, est mesuré par la spirométrie, la pléthysmographie respiratoire par inductance et par déduction du rythme cardiaque (mesure indirecte sur les *apple watch*, par exemple).
- Le **système excréteur** est mesuré par des capteurs de mesure électrodermale qui calculent huit paramètres : la morphologie, l'amplitude, la latence, le temps de montée, la durée, la réponse et le temps de récupération des potentiels électriques.
- La **température** est mesurée par des thermomètres électriques ou des thermomètres à infra-rouge et des caméras à infra-rouge (thermographie infra-rouge).
- Les **expressions émotionnelles faciales** sont mesurées *via* des dispositifs d'inspection visuelle (FACS, SPAFF, etc.), des dispositifs d'oculométrie, d'électro-oculographie et d'électromyographie faciale, de surface ou invasives.

130 LUMINET, Olivier, *op. cit.*, p. 40-41.

131 GIL, Sandrine, *op. cit.*, 17.

- La **composante vocale** (non-verbale, prosodie) est mesurée par des microphones associés à des logiciels permettant d'analyser les versants temporels et acoustiques de la voix.
- La **composante comportementale** (activité musculaire, posture, déplacements et gestes) est mesurée par des interfaces de suivi de mouvement, par électromyographie, par des podomètres et des GPS, par des accéléromètres tridimensionnels, par des dispositifs d'inspection visuelle et des interfaces motrices et sensori-motrices. La plupart de ces dispositifs constituent des interfaces de commande qui permettraient de mesurer l'activité émotionnelle sans toutefois y répondre. Néanmoins, avec l'émergence des metavers, nous pensons que les interfaces tactiles – qui sont les plus utilisées, actuellement – devraient développer des fonctionnalités émotionnelles.
- La **composante subjective** est mesurée par des tests papier-crayon ou méthode d'auto-évaluation (DET, DES, mDES, BMIS, etc.) qui permettent d'évaluer les contextes situationnels, expérimentations ou expériences artistiques, *a posteriori* (sentiment-conscient), les humeurs, la valence (plaisir-déplaisir), le niveau d'excitation (*arousal* ou intensité de l'émotion), la dominance (se sentir en contrôle ou être contrôlé par un contexte situationnel ou autrui), ainsi que la place qu'occupent les émotions dans le schéma corporel (topographie des émotions).

Dans le cadre de ce chapitre, nous explorons différents dispositifs et méthodologies qui sont appliqués dans le domaine scientifique, à des fins exploratoires dans le cadre de la création artistique. Les dispositifs et méthodes cités font donc l'objet d'une mise en valeur par le domaine artistique (un transfert de technologie), qui en transforme la fonction :

«Tout se passe alors comme si les artistes cherchaient, intuitivement, à nous faire prendre conscience de ce nouveau milieu technologique en nous gratifiant d'un plaisir particulier. Comme s'ils cherchaient non pas à nous soumettre à cet univers technique mais à nous en distancier tout en en jouant, à le dévier de sa destination pragmatique pour en faire un libre terrain d'expériences esthétiques<sup>132</sup>».

L'œuvre à l'inverse de la science, doit utiliser le signal biologique à des fins créatives et parfois irréalistes. Le versant plutôt négatif qui s'attache à cette rigueur secondaire, voire facultative, repose sur les discours (creux) employés par certaines œuvres se définissant malgré l'absence d'une recherche concrète, comme «émotionnelles». Dans le domaine artistique, il n'est pas obligatoire d'apporter une réelle validation sur le fait que ce sont bien les émotions qui

132 COUCHOT, Edmond, «La relation intersubjective dans les arts immersifs présence et temporalités», *Corps*, n°13, p. 94.

sont captées : parfois ce ne sont pas du tout les émotions qui se jouent, mais seulement un signal physiologique ou comportemental (quand il y a un signal non simulé). Comme nous l'avons dit dans ce chapitre, pour qu'il y ait I<sup>2</sup> émotionnelles, il faut qu'il y ait des modèles d'induction ou d'analyse capables de produire les conditions d'émergence du phénomène émotionnel ou de traiter les signaux physiologiques, comportementaux et subjectifs, afin de les transformer en données émotionnelles. Aussi, les dispositifs scientifiques de mesures physiologiques et comportementales sacrifient souvent le confort du participant au profit de ce résultat précis (IRM, EMG, etc.). À moins que cela ne fasse partie du propos – par exemple, l'œuvre *Heart-Space AstroBalloon* (1969, installation avec ECG, Polar OEM sensor et Arduino) intègre deux participants à l'intérieur d'une structure ressemblant à un cerveau – une telle chose n'est pas envisageable dans le domaine artistique, encore moins dans le domaine du divertissement grand public, secteurs pour lesquels la démocratisation des pratiques et des dispositifs implique entre autres choses, une facilité et un confort d'usage (visiocasques sans fils, notamment).