

# La *biofeedback loop* et les œuvres d'art interactives : quel façonnement émotionnel de soi ?

137

Léa Dedola  
[leadedola@msn.com](mailto:leadedola@msn.com)  
Doctorante CIFRE  
Laboratoire PASSAGES XX-XXI  
Université Lumière Lyon II  
Producer & Game Director à RyseUp Studios

RÉSUMÉ. Le fonctionnement autopoïétique de l'expérience artistique en réalité virtuelle usant de *biofeedback loop* dépend de plusieurs facteurs qui sont contextuels, technologiques (médiatiques) et artistiques et qu'il nous faut décrire et analyser afin de répondre plus spécifiquement aux questionnements suivants : quels sont les usages et pratiques artistiques envisageables dans le cadre des médias interactifs usant de la *biofeedback loop* ? Que devient le façonnement émotionnel de *soi* lorsqu'il est pris dans ces dispositifs particuliers ? D'autant que les retours d'information de l'activité corporelle d'autrui ou du groupe s'incorporent parfois, et ce de manière « forcée », dans l'expérience phénoménologique (individuelle) du sujet.

MOTS CLÉS : boucle de rétroaction médiée, émotions, arts interactifs, réalité virtuelle, soma-esthétique

ABSTRACT. The autopoiesis function of the biofeedback loop-based virtual reality artistic experience relies on several factors, which are contextual, technological (medium-based) and artistic. We need to describe and analyse this function in order to answer more specifically the following questions: Which artistic uses and practices are worth considering in the realm of biofeedback loop-based interactive media? What

to make of the emotional shaping of the self when it is considered through the lens of those particular devices? Especially when the feedback from the other's or the group's body activities are sometimes forcibly integrated in the subject's (individual) phenomenological experience.

KEYWORDS: Biofeedback loop, Emotions, Interactive Art, Virtual Reality, Autopoiesis, Soma-aesthetics

## Introduction

Dans le cadre de cet article nous aimerions réfléchir aux potentiels artistiques mis en œuvre dans le contexte des arts interactifs, en les rapprochant du concept d'autopoïèse de Hideo Kawamoto. Celui-ci se distingue des approches de Francisco Varela et Humberto Maturana qui, limitées par la forme littéraire, expriment la vitalité de manière plutôt « mécanique », « linéaire », comme une « circulation automatique » (Kawamoto, 2011 : 351). L'autopoïèse de H. Kawamoto s'élabore préférentiellement de manière « organique », comme un façonnement dynamique et complexe de soi, mais aussi comme un façonnement de l'espace qui contient le soi. Cette notion sied davantage à notre étude car elle tente de décrire « les phénomènes de la vie [...] des mouvements spatiaux, [...] des interactions avec l'environnement, des autorégénérations de parties endommagées et même des auto-transformations corporelles » (Kawamoto, 2011 : 349) se produisant comme une « réaction chimique » (Kawamoto, 2011 : 358), sur un modèle que nous pouvons subséquemment rapprocher à notre champ d'étude : l'immersion et l'interaction émotionnelle en contexte situationnel artistique.

Notre réflexion s'effectue aussi dans le but d'imaginer les possibles de la création artistique en réalité virtuelle, puisque les œuvres en réalité virtuelle<sup>1</sup> usant de boucles de rétroaction médiées (*biofeedback loop*) se prêtent idéalement à la formule de Kawamoto. Grâce aux dispositifs de captures psychophysiologiques<sup>2</sup>, ces expériences exploitent les signaux biologiques de l'interacteur comme un moyen pour lui « d'agir émotionnellement dans » un environnement construit artistiquement en temps réel. En donnant à l'individu une perception cohérente de son activité physiologique (sur laquelle il pourra alors agir) cette boucle participe notamment à la constitution d'un modèle autopoïétique qui permet à l'individu et à l'environnement de se co-déterminer. Notre approche de l'immersion et de l'interaction s'appuie donc sur l'hypothèse qu'il existe « une trace psychophysique » de l'expérience esthétique évoluant en temps réel,

1 Est nommé « réalité virtuelle », un dispositif qui place l'individu dans un environnement virtuel à 360° et qui propose une immersion et une interaction (« I<sup>2</sup> » selon quatre niveaux, sensorimoteur, fonctionnel, cognitif et émotionnel) actualisées en temps réel et s'effectuant en fonction des modalités sensorielles proprioceptives et extéroceptives humaines, comme défini par Fuchs (2018).

2 La boucle d'information est nommée *biofeedback* quand elle capture les données physiologiques du corps indépendamment de son activité cérébrale, dans ce dernier cas elle sera alors nommée *neurofeedback*.

que nous pouvons mesurer, analyser et retranscrire esthétiquement pour parfaire le dialogue artistique humain-œuvre-humain sur le mode émotionnel.

Quels sont les possibles créatifs liés à l'usage de la *biofeedback loop* dans les contextes situationnels artistiques ?

L'enjeu de ce travail consistera en une première synthèse qui concerne les utilisations artistiques de la *biofeedback loop* à partir d'un corpus d'œuvres interactives et d'expériences en réalité virtuelle. Cette enquête s'effectue en militant particulièrement pour une étude qui s'intéresse à l'immersion et à l'interaction émotionnelle, ainsi qu'au façonnement émotionnel (soma-ETesthétique) de l'être humain dans les environnements artistiques numériques.

## Facteurs technologiques du façonnement de soi émotionnel

Dans cette première partie nous étudierons les facteurs technologiques de l'immersion et l'interaction émotionnelle se produisant via une *biofeedback loop*. Par facteurs technologiques, nous entendons réfléchir à l'ontologie des médiums (plastiques [électroniques], numériques) mis en système par la *biofeedback loop* et aux types d'immersion et d'interaction, en conformation avec le type d'environnements constituant l'œuvre, proposés en conséquence à l'utilisateur.

### Fonctionnement de la boucle de rétroaction émotionnelle médiée (*biofeedback loop*)

La boucle de rétroaction émotionnelle médiée utilise les « signaux biologiques<sup>3</sup> » dans le but d'agir sur un objet et de modifier les valeurs esthétiques et fonctionnelles d'un environnement donné. *In fine*, elle écrit pour le spectateur une expérience artistique s'appuyant sur son expression physiologique au sens large, c'est-à-dire s'élaborant selon des valeurs liées à l'activation émotionnelle (en anglais « arousal », désigne l'intensité de l'émotion). Les facteurs qui limiteraient ce système d'interaction émotionnel homme-environnement virtuel sont *a priori* technologiques, puisque nous ne pouvons pas déterminer précisément le type d'émotion ressenti *via* les systèmes de mesures psychophysologiques. Cette tâche est d'autant plus difficile, pour ne pas dire impossible, que les émotions ne sont pas des phénomènes arrêtés dans le temps mais à l'inverse, elles sont dynamiques. Elles s'actualisent afin de répondre aux déplacements attentionnels de l'individu qui s'effectuent en fonction de l'importance des *stimuli* qui sont perçus et elles répondent aussi à des contextes situationnels en évolution. Un premier facteur limitant serait donc tributaire de l'incapacité que nous avons à identifier l'émotion au singulier, d'autant que certains chercheurs évoquent la possibilité qu'un stimulus suscite plutôt qu'une émotion unique, un « mélange d'émotions » chez l'individu (Cowen *et al.*, 2019 : 83). Il est évident

3 Des « signaux de nature bio-électrique, et qui se manifestent par le changement de potentiel électrique à travers un tissu ou un organe spécialisé dans un organisme vivant. Ils sont indicateurs de l'état physiologique du sujet. » (Ortiz *et al.*, 2011).

que de plus amples recherches doivent être effectuées dans le but de combler lesdits manques de documentation et d'approfondir le lien entre nos affects et le « patron de réponses physiologiques » associé (Gil, 2009 : 19).

Un deuxième facteur limitant les capacités de la *biofeedback loop* trouve son origine dans l'inaptitude des systèmes à dissocier les réactions émotionnelles de l'activité physique. Les états émotionnels sont liés aux états physiologiques (Damasio, 1994 ; John et James, 2006 ; Niedenthal, 2007), mais les états physiologiques ne sont pas forcément liés à un éprouvé émotionnel. Certaines réactions physiologiques, l'augmentation du rythme cardiaque par exemple, peuvent ne pas être imputées à un phénomène émotionnel, mais tout simplement à une activité physique (sportive), ce qui complique d'autant plus le travail discriminatif que devraient effectuer les systèmes de mesures.

Si la *biofeedback loop* ne permet pas de percevoir l'activité émotionnelle en particulier elle peut néanmoins provoquer en fonction qu'elle soit « directe » et / ou « indirecte »<sup>4</sup> (Silva *et al.*, 2014) des comportements issus des pratiques soma-esthétiques, de « régulation émotionnelle », d'autodiscipline corporelle car elle implique un « processus qui permet à un individu d'apprendre comment changer son activité physiologique avec pour objectif d'améliorer sa santé et ses performances » (Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback). Via sa théorie sur la soma-esthétique pratique, Richard Shusterman développe un intérêt philosophique et empirique qui porte sur « l'amélioration somatique de soi » (Shusterman, 2008 : 47). À ces fins, il recommande un « art de vivre » qui entretient une attention particulière au corps. Cette perception re-dirigée vers le *soma* nécessite d'adopter un regard introspectif (la perception des changements émotionnels) et une discipline physique visant à parfaire un meilleur usage de soi dans les milieux extérieurs, virtuels ou réels. En s'instituant *ab initio* comme le principal liant interactif entre le participant et l'environnement, la *biofeedback loop* oblige à la pratique introspective<sup>5</sup>. Dans un premier cas de figure, le façonnement du soi émotionnel procède donc par un apprentissage comportemental de la régulation émotionnelle, d'après les modèles d'expériences méditatives, notamment d'« attention concentrée » (sur un objet) et de « surveillance méditative » (sur les processus internes de l'individu) (Lutz *et al.*, 2008 : 163). La régulation émotionnelle devient un outil artistique que l'individu doit apprendre à maîtriser afin d'agir à loisir sur l'œuvre. Dans un cas de figure ordinaire, la séquence émotionnelle est linéaire, elle procède depuis l'induction des émotions à l'évaluation cognitive<sup>6</sup>, jusqu'aux réponses émotionnelles : physiologiques (accélération du rythme cardiaque), comportementales (la fuite), et subjectives (sentiment). Dans le cas particulier de l'utilisation d'une *biofeedback*

4 L'individu est actif (il est conscient de la manière dont ses données physiologiques impactent l'expérience et il les manipule) ou passif (il n'en est pas conscient) face à son état physiologique. Nous pourrions dire aussi que ces données sont « explicites » ou « implicites » pour l'individu, « conscient » ou « inconscient ».

5 Le rapport dialogique de ces interfaces humain/environnement virtuel se base sur une interactivité utilisant des capteurs biométriques et suppose donc que des signaux réels ici intéroceptifs, soient transformés en signaux numériques et *in fine* retransformés en signaux (*stimuli*) réels (Bongers, 2000 : 43).

6 Le contexte situationnel est évalué, interprété par l'individu.

*loop*, ce schéma n'est plus linéaire mais « bouclé ». L'émotion induite est celle prélevée à partir des réponses émotionnelles (physiologiques) de l'individu.

La particularité de la *biofeedback loop* est donc d'assimiler de manière inédite la réponse émotionnelle (physique et physiologique) de l'individu au phénomène d'induction des émotions. Les deux apparaissant comme indivisibles : de la réponse émotionnelle dépend l'information contenue dans les *stimuli* qui serviront à l'induction émotionnelle. D'ordinaire, ces *stimuli* sont considérés comme « imprédictibles » (non-planifiés) même si nous avons appris pour la plupart à les anticiper et à y répondre (Berthoz, 1997 : 22). Dans le cadre artistique que nous décrivons, l'évaluation cognitive des contenus de l'expérience se fait sur des *stimuli* issus des états intéroceptifs du participant. Ces *stimuli* se confondent à la représentation esthétique et deviennent parfois perceptibles, permettant *in fine* à l'individu auto-discipliné sur le plan somatique de manœuvrer les contenus de l'expérience<sup>7</sup>. De tels dispositifs nous positionnent donc comme acteur et observateur de notre propre fonctionnement vital. Nous passons ainsi de l'interactivité à la « co-activité » (Koch *et al.*, 1990), d'une interaction avec l'œuvre ou dans l'œuvre qui se rapproche davantage de celle que nous faisons d'un instrument (Tanaka et Knapp, 2002 : 2).

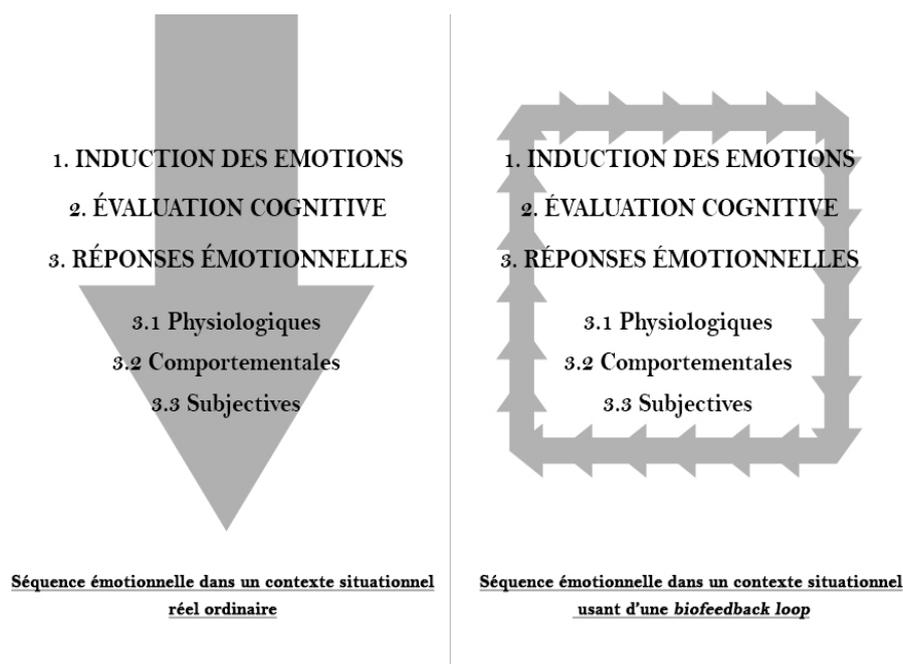
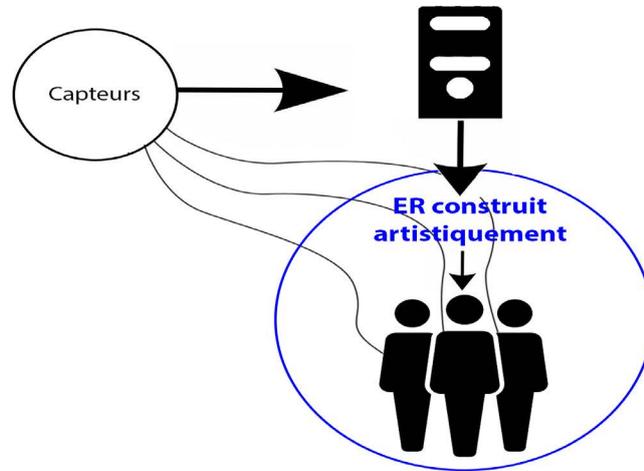


Fig. 1. Développements de la séquence émotionnelle dans un contexte situationnel usant d'une *biofeedback loop*.

<sup>7</sup> Apprendre par exemple à contrôler ses états de stress en situation de danger dans *Stressjam*, Jamzone, 2019 (réalité virtuelle, visiocasque et *controller*).

## La *biofeedback loop* en environnement réel



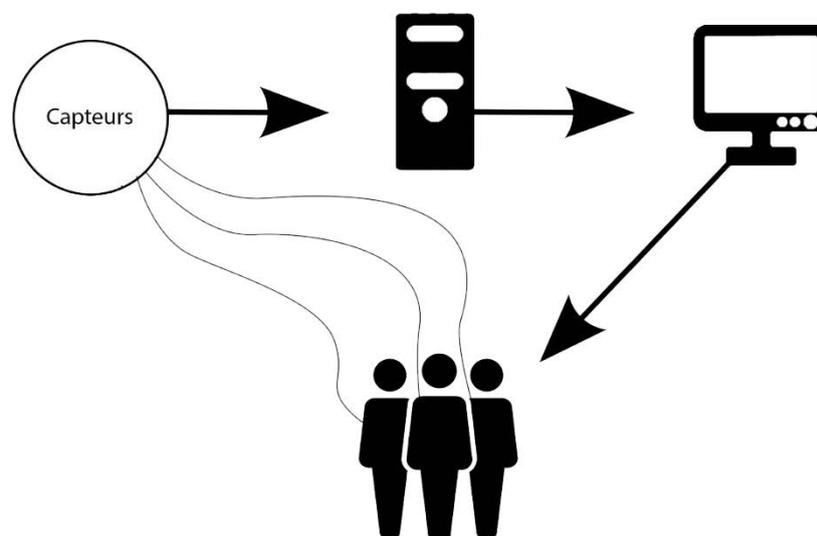
142

Fig. 2. Schéma représentant un ou des sujet(s) interfacé(s) par des capteurs de données intéroceptives dans un environnement réel construit artistiquement et usant d'une *biofeedback loop*.

Dans le contexte situationnel d'un individu présent dans un environnement réel construit via une *biofeedback loop*, les capteurs physiologiques mesurent et retranscrivent les données émotionnelles du participant à un système intermédiaire (un ordinateur, une carte Arduino, etc.) qui se chargera de les transformer selon les possibles technologiques, environnementaux et les choix artistiques effectués en amont. Dans cette configuration précise, un signal biologique se manifestera d'après une logique « plastique<sup>8</sup> » à travers un stimulus extéroceptif (visuel, auditif, tactile, etc.).

8 Logique impliquant l'utilisation de techniques et supports dits « plastiques ». Dans notre cas cette logique suppose de « remodeler » l'environnement et les objets réels (ici matériaux) à des fins artistiques.

### La *biofeedback loop* en environnement virtuel à distance visuellement (EV\_Ext)



**Fig. 3.** Schéma représentant un ou des sujet(s) interfacé(s) par des capteurs de données intéroceptives dans un environnement virtuel à distance visuellement (EV\_Ext), construit artistiquement et usant d'une *biofeedback loop*.

Dans le cas d'un individu interagissant avec un environnement virtuel mais visuellement à distance, les données intéroceptives se manifestent en *stimuli* extéroceptifs (visuels, auditifs, parfois tactiles), l'individu n'étant pas corporellement immergé au sein de l'expérience. Dans cette conjoncture, l'individu peut interagir *sur* l'image et non pas *dans* l'environnement, comme nous le verrons ci-après *via* le cas de la réalité virtuelle. Même si l'accès à l'œuvre se fait *via* les canaux extéroceptifs, à la différence de l'environnement réel, l'environnement virtuel à distance s'élabore selon les principes computationnels et offre donc la possibilité à l'individu (*via* son avatar ou sans avatar) d'effectuer des actions (voler, tirer des boules de feu, etc.) qui échappent à la conformation humain/environnement réel.

### La biofeedback loop en environnement de réalité virtuelle (EV\_Pro)

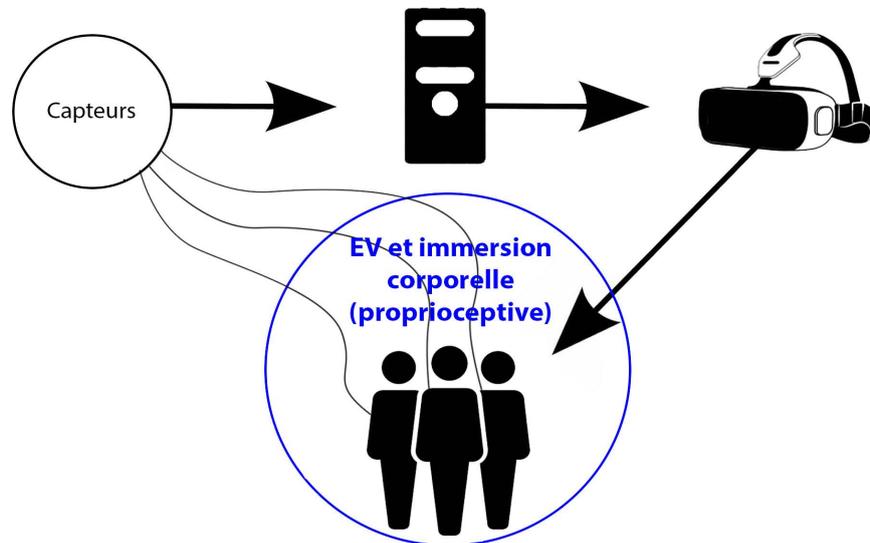


Fig. 4. Schéma représentant un ou des sujet(s) interfacé(s) par des capteurs de données intéroceptives dans un environnement virtuel (EV\_Pro), construit artistiquement et usant d'une *biofeedback loop*.

Au début du XXI<sup>e</sup> siècle, les ordinateurs et les capteurs biométriques sont assez puissants pour mesurer les données physiologiques des sujets, et cela même au cours d'une activité. Les systèmes de mesures se démocratisent (deviennent accessibles financièrement et utilisables) et apparaissent sous la forme nouvelle des « objets connectés portables » (Munoz *et al.*, 2016) ; dits « habitroniques » (Houzangbe, 2019 : v). Si les élaborations artistiques usant de biofeedback changent peu, nous observons néanmoins que les potentiels esthétiques et soma-esthétiques de cet ancien modèle à boucle de rétroaction se destinent désormais à l'usage des « nouveaux médias » numériques (réalité virtuelle, réalité augmentée)<sup>9</sup>.

Dans le contexte situationnel d'une expérience en réalité virtuelle s'effectuant donc sur le mode « 4I<sup>2</sup> » (Fuchs, 2018 : 368) et usant d'un visiocasque ou d'un CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*), l'individu est présent corporellement dans l'expérience à 360°. Les données intéroceptives sont donc utilisées pour produire des stimuli extéroceptifs et proprioceptifs, d'après une logique computationnelle<sup>10</sup>.

9 ARTSENSE, 2013 (*Augmented Reality Supported adaptive and personalized Experience in a museum based on processing real-time Sensor Events*).

10 Dans *Osmose* de Char Davies (1995), la mesure de la fréquence respiratoire capturée sur l'individu lui permet de se déplacer dans l'environnement virtuel. Dans *Deep* (Marieke Van Rooij, Adam Lobel, Owen Harris, Niki Smit, Isabela Granic, 2016 ; visiocasque, ceinture de poitrine), les joueurs avancent dans la direction de leur expiration et la gravité s'applique sur leur corps virtuel en déplacement quand les poumons sont mesurés (par la ceinture) à 50 % de leur capacité.

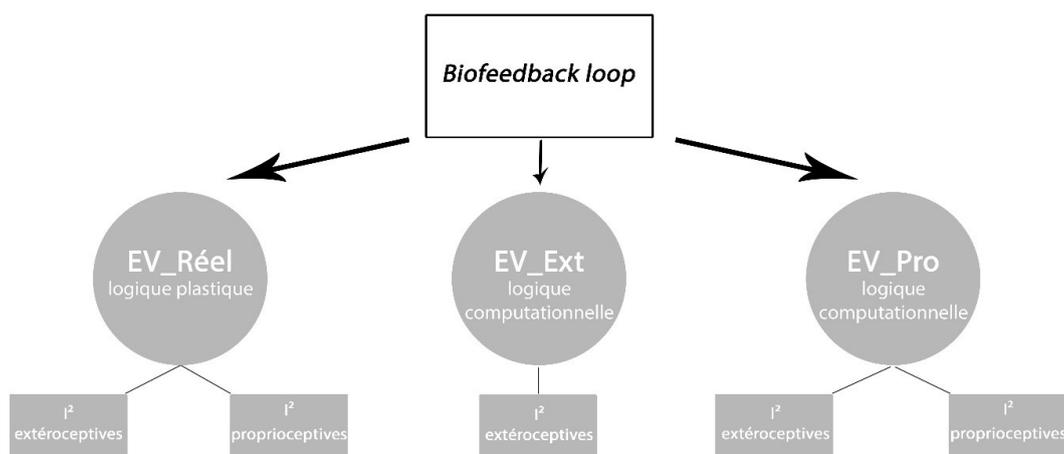


Fig. 5. Facteurs technologiques et médiatiques du façonnement de soi dans le cadre des œuvres interactives.

En résumé, trois conformations sont ici à l'étude et nous supposons que chacune d'entre elles produit une expérience esthétique différente pour l'individu. La première situe corporellement le participant dans un contexte situationnel réel qui est construit artistiquement via une *biofeedback loop* d'après une logique plastique. La seconde situe le participant dans un contexte situationnel virtuel à distance visuellement et construit artistiquement via une *biofeedback loop* d'après une logique computationnelle. La troisième situe corporellement le participant dans un contexte situationnel virtuel à 360° qui est construit artistiquement via une *biofeedback loop* d'après une logique computationnelle. Ces postulats physiologiques, cognitifs et technologiques étant posés, nous pouvons désormais aborder le sujet de l'art interactif usant d'une boucle de rétroaction dite « émotionnelle » en nous intéressant davantage aux conditions contextuelles et artistiques.

### Usages et pratiques artistiques de l'expérience interactive usant de *biofeedback*

Quand la *biofeedback loop* est utilisée dans un contexte artistique, celle-ci ne fonctionne plus simplement sur le mode « stimulus-réponse » (Couchot, 2015 : 90). Au fonctionnement pragmatique d'un tel dispositif s'ajoute l'essence d'une œuvre d'art et donc une certaine « autonomie » qui déguise les intentions esthétiques des artistes sous la forme de « modèles autonomes en interaction » (Couchot, 2015 : 86). Ces modèles internes pilotent en arrière-plan la production audiovisuelle, haptique et parfois proprioceptive de l'expérience.

## Modèles et mesures

La surveillance des signaux biologiques (en anglais, « biosignal monitoring ») consiste à mesurer l'activité électrique d'un organisme vivant. À l'origine utilisée dans le domaine de la santé, cette pratique a été exportée dans le domaine de la performance musicale (la *brainwave music*)<sup>11</sup> et l'art interactif<sup>12</sup> via des collaborations entre artistes et scientifiques (bioingénieurs, neuroscientifiques, physiologistes, etc.). Dans les années 1960-1970, elle consiste à mettre en œuvre des modèles misant essentiellement sur « l'amplification » des ondes cérébrales et données physiologiques en paysages sonores. Ces systèmes seront ensuite approfondis à travers l'utilisation de différents modèles et paramétrages<sup>13</sup> de « *mapping* », consistant à mettre en correspondance (*mapped*) « un objet d'un domaine source [...] en un autre objet dans un co-domaine » (Barrass et Vickers, 2011 : 153). Dans le contexte musical par exemple, ceux-ci représentent « les changements dans certaines dimensions des données en lien avec des changements dans certaines dimensions acoustiques pour produire la sonification » (Walker et Nees, 2002 : 16), mais dans notre cas de figure ils s'étendent à d'autres moyens esthétiques (audiovisuels, haptiques, proprioceptifs) et fonctionnels (la mécanique de l'expérience). Ces modèles intégrés impliquent donc des transformations structurelles systématiques, voire répétitives, des données psychophysiologiques en valeurs esthétiques et fonctionnelles. Nous pourrions donc considérer que le plaisir esthétique éprouvé *via* ce genre de support artistique (systémique, etc.) consiste dans la « reconnaissance de certains patrons d'expériences », comme le suggère Whitehead (1956 : 186). Un premier levier artistique comporte donc la configuration de ces paramètres et modèles intégrés, par lesquels l'expérience systématisée et émancipée fait disparaître la présence des créateurs au profit de la participation d'autrui.

À notre avis, il existe un autre facteur, qui est mis au service des intentions créatives des concepteurs-artistes : le type de mesure choisi. Plusieurs dispositifs nous renseignent sur différents types d'activités psychophysiologiques humaines (EEG, ECG, EMG, etc.), nous supposons donc que chaque capteur ne permet pas le même contrôle de la dimension esthétique, fonctionnelle (co-créative) de l'œuvre d'art. Celle-ci dépendrait notamment de l'aptitude d'un individu à contrôler, manipuler mieux que d'autres, certaines « fonctions psychophysiologiques » et des types de structures produites par les « variations dans le temps [...] des potentiels électriques [d'une activité psycho-physiologique] » (Aly, Bernardes et Penha, 2018). D'après cette logique, certains dispositifs

11 Alvin Lucier et Edmond Dewart en 1964 sur *Music for Solo Performer*, dont la « première » s'était déroulée à l'Université Brandeis en 1965. Richard Teitelbaum (*Musica Elettronica Viva*) avec l'aide de l'inventeur Robert Moog (synthétiseur modulaire), *Spacecraft*, 1967. Pierre Henry (musique concrète) et Roger Lafosse : *Corticalart*, 1971. David Rosenboom et J. B. Floyd, *le Portable Gold and Philosopher Stone*, 1974.

12 Le « Cône pyramide » (*Heart beats dust*) de Jean Dupuy et Ralph Martel (1968).

13 Les techniques les plus usitées pour manipuler ces données dépendent de critères « basés sur des paramètres » (en anglais « *parameter-based* »), les données physiologiques produisent directement les valeurs esthétiques / fonctionnelles de l'expérience, ou « basés sur un modèle » (en anglais « *model-based* »), l'interaction des participants avec les données physiologiques produit les valeurs esthétiques / fonctionnelles de l'expérience (Vermeulen, 2013).

seraient plus à même de modifier les parties explicites de l'œuvre d'art et d'autres mesures profiteraient davantage aux fonctions esthétiques et fonctionnelles en arrière-plan (par exemple, la luminosité / les ombres, la musique, l'intelligence artificielle des personnages), mais sur ce sujet encore, la recherche doit être approfondie.

### Paramètres esthétiques et fonctionnels de l'expérience

Les données psychophysiologiques sont donc mesurées, interprétées et exprimées selon les possibles esthétiques et fonctionnels de l'œuvre. Un premier paramètre esthétique utilisé dans le cadre de la *biofeedback loop* artistique est auditif. Dans ce cas de figure la communication permise par le support se fait via le son et pour un auditeur<sup>14</sup>. Le *mapping* « paramétrique » des performances musicales issues de la *brainwave music* par exemple, s'élabore selon un processus d'« audification », c'est-à-dire d'amplification sonore des données psychophysiologiques mesurées. Cette technique est appliquée afin qu'un objet ou même un son inaudible d'ordinaire (les ondes cérébrales, par exemple) parvienne dans les seuils de perception de l'oreille humaine<sup>15</sup>. À un niveau de complexité plus élevé, la « sonification » est une technique de *mapping* s'effectuant à partir de modèles qui suppose « la relation entre les données en relations perçues dans un signal acoustique dans le but de faciliter la communication ou l'interprétation » (Kramer *et al.*, 1999 : 3). Ce processus s'est enrichi avec le temps grâce à l'apparition de nouveaux systèmes et périphériques produisant du son<sup>16</sup>. Pour parvenir à l'objectif de créer du « sens », la technique de sonification se divise en sous-catégories organisant des concepts et thématiques phares « les alarmes, alertes et avertissements » (un message simple traduisant une urgence, un *beep* par exemple), « message d'état, de processus et de surveillance » (un son dont la moindre variation indique une information de changement : un moniteur patient [scope] de fréquences cardiaques, par exemple), « l'exploration des données » (un aperçu général, holistique des signaux biologiques en paysages sonores) et ce que nous étudions plus particulièrement ici « l'art, les loisirs, les sports et les divertissements » (Walker et Nees, 2002 : 13-15).

Un second paramètre esthétique se destinant à l'usage de la *biofeedback loop* est la visualisation. La visualisation est par définition l'« action de rendre visible un phénomène qui ne l'est pas » (CNRTL), ici il s'agit donc de l'activité psychophysiologique exprimée via l'*image* et pour un observateur (ou un spectateur). À ces fins, les moyens esthétiques sont pluriels allant du « cadrage » — les échelles des plans, les angles et mouvements de prise de vue, la composition de l'image

14 Il est important de préciser que l'un des premiers facteurs contextuels est tributaire des conditions imposées par le corps propre de l'être humain. L'expérience proposée doit répondre aux contraintes imposées par les règles du fonctionnement corporel et notamment sensoriel, cognitif et ici émotionnel des individus.

15 Le phénomène d'audification est sous-catégorisé de la manière suivante, « les enregistrements sonores », « les données acoustiques en général », « les données physiques » et « les données abstraites » (Dombois et Eckel, 2002 : 302)

16 Une machine à laver produit aussi des alarmes sonores et donc délivre des messages élaborés selon un processus de sonification.

(lumière, colorimétrie, point de vue du spectateur et mouvement dans l'image, mais aussi la 2D et la « 3D », etc.) —, aux images « montées » (en parallèle, de manière alternée, ralenties, etc.).

Un troisième paramètre esthétique se destinant à l'usage de la *biofeedback loop* est la simulation haptique (plus fréquemment « tactile »). Ici, la communication permise par le support se fait le plus souvent via des vibrations. Dans cette conjoncture, moins étudiée à un niveau émotionnel, les interfaces permettent idéalement à l'individu de ressentir les signaux biologiques d'après les modalités haptiques de formes, de textures et de températures (tactile), mais aussi de forces (kinesthésie). Pour l'instant les modèles et interfaces haptiques Humain-Machine développés sur cette base sont surtout énonciatifs (Brewster et Brown, 2004 ; Brown *et al.*, 2005 ; Mathew, 2005 ; Benali-Khoudja *et al.*, 2007 ; Zhang *et al.*, 2018) et consistent en des « icônes tactiles » générant un signifiant émotionnel via la « fréquence », l'« amplitude », la « forme de la vague », la « durée » (le rythme) vibratoire (Brewster et Brown, 2004 : 16-17).

À ces trois modalités sensorielles / esthétiques vient donc s'ajouter dans le cadre des expériences en réalité virtuelle, la proprioception. Dans ce cas de figure la communication permise par le support se fait *via* un environnement à 360° pour un interacteur immergé corporellement dans l'expérience. L'individu est *dans* l'œuvre, *dans* l'environnement virtuel (milieu) et *dans* la diégèse (participation). Dans cette conjoncture, les signaux biologiques permettront aussi à l'individu de se mouvoir et d'effectuer certaines actions dans l'environnement virtuel. Les données émotionnelles capturées sur le participant peuvent prendre des formes irréalistes, déconnectées de son fonctionnement sensorimoteur, cognitif et émotionnel habituel, puisque les fonctions vitales (et d'ordinaire végétatives) comme la respiration ou le rythme cardiaque peuvent être utilisées pour accomplir des activités proprioceptives, telles que « se déplacer » virtuellement dans l'expérience. Dans cette perspective, l'environnement de réalité virtuelle apporte une dimension nouvelle à la réflexion somatique et au façonnement créateur de soi. Elle permet au corps du sujet d'être immergé et d'interagir dans des situations imaginées, inédites, et de lui proposer l'accès à un « nouvel état d'être » (Raboison, 2014 : 105). Ce « nouvel état d'être » est perceptible pour l'individu sous la trace audiovisuelle, haptique et proprioceptive (kinesthésique) des transformations de ses états du corps éprouvés en interne et désormais tangibles.

Les données biologiques peuvent donc être transformées en données esthétiques, mais elles peuvent aussi avoir une influence sur les systèmes plus en amont, de génération de contenus ou de mécaniques de l'expérience. Dans ces derniers cas de figure, les modèles utilisés sont adaptatifs (des aides logicielles), ils ajustent les contenus de l'expérience à l'émotion de l'individu ou à des fonctionnalités de la mécanique de jeu<sup>17</sup> (Rani *et al.*, 2005 ; Parnandi et Gutierrez-Osuna, 2015 ; Nogueira *et al.*, 2016).

17 Les chercheurs Gilleade, Dix et Allanson (2005) proposent à ce titre de modifier l'expérience selon trois leviers de mesures : « aide-moi » (mesure la frustration du joueur), « challenge-moi » (mesure l'engagement du joueur) et « émeus-moi » (analyse l'état émotionnel et modifie

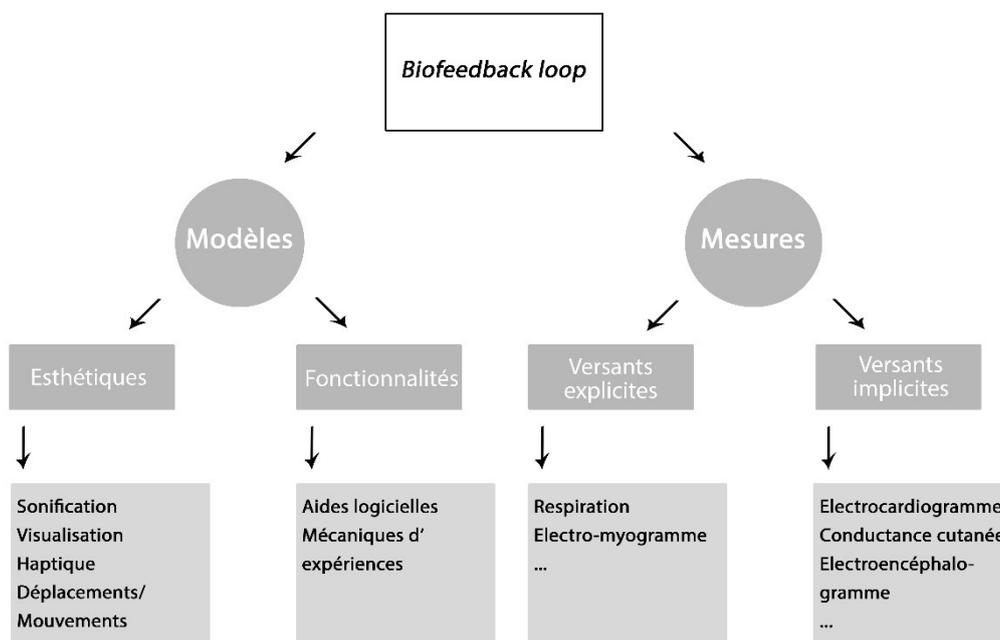


Fig. 6. Potentiels esthétiques et fonctionnels de la *biofeedback loop*<sup>18</sup>.

S'ajoute à ces principes contextuels et artistiques un facteur social jusqu'alors ignoré. Celui-ci suppose la présence active d'un ou plusieurs individus au cours de l'expérience. En incorporant l'expérience d'autrui (physiologique, artistique) dans notre expérience propre, ce nouveau paradigme transforme le rapport autopoïétique (individuel, de « soi à soi ») (Lux *et al.*, 2018 : 260) que nous envisageons. Quels sont les enjeux artistiques à l'œuvre via l'usage d'une *biofeedback loop* à deux ou dans une configuration collective ? Quelle impact cette nouvelle conformation a-t-elle sur l'activité, le façonnement autopoïétique à l'échelle d'un sujet propre ?

## Facteurs contextuels du façonnement de soi émotionnel

Par facteurs contextuels nous entendons les situations dans lesquelles sont pris l'œuvre d'art et l'individu. Nous souhaitons en particulier nous poser la question du statut co-créatif de l'œuvre d'art participative.

le contenu du jeu en fonction de l'émotion attendue par le joueur). Dans *Space Connection* (Munoz *et alii*, 2016 ; Jeu vidéo) un EEG et un capteur de fréquences respiratoires sont utilisés pour le contrôle des objets à distance et la manipulation du temps. Dans *Nevermind* (Lobel *et al.*, 2016 ; Jeu Vidéo), la fréquence cardiaque modifie l'environnement pour le rendre plus perturbant pour le joueur et augmente le niveau de difficulté. Dans *Dislocation VII : Suspension of Attention* (Chatonsky, 2013), un EEG capture l'activité cérébrale de l'interacteur. Quand celui-ci se concentre il réussit à déplacer les objets.

18 Nous nous appuyons sur la taxonomie de Aly, Penha et Bernardes (2018) pour la classification des mesures (d'après leurs effets artistiques). Dans la catégorie « versants explicites » nous plaçons les mesures dont le niveau de contrôle psychophysologique et la variation dans le temps sont les plus élevés, ces deux facteurs permettant d'agir activement dans l'expérience.

Si les dispositifs de mesures ne peuvent pas capturer ni reconnaître les émotions en particulier, voire les distinguer d'une épreuve physique, ils peuvent en revanche tout à fait mesurer l'activité émotionnelle en général, c'est-à-dire saisir les données psycho-physiologiques de plusieurs personnes en même temps. Dans ces contextes réels ou virtuels particuliers (artistiques), c'est aussi sur cet autre paramètre que se déploie la notion d'autopoïèse de Hidéo Kawamoto. Le façonnement émotionnel de *soi* par l'usage de l'art interactif se réalisant donc individuellement, à deux ou en groupe.

### Le façonnement de *soi* « individuel »

Comme introduit dans la partie ci-avant, dans une première conjoncture de « soi-à-soi » l'esthétique de l'environnement de réalité virtuelle rend perceptibles les données physiologiques qui étaient jusqu'alors invisibles, inaudibles et intangibles. Dans cette perspective, l'expérience phénoménologique (perceptible d'après la représentation en temps réel des « signatures » psychophysiologiques) que l'utilisateur fait dans l'environnement réel ou virtuel se construit de manière à se retourner finalement sur elle-même. L'individu au sein de ce type d'expérience éprouve simultanément un contenu artistique et le retour d'information sur le plaisir ou déplaisir esthétique qu'il est en train de vivre. Cette conformation, codétermination, ressemblerait à celle de la « Relation Affective Incorporée » d'Olivier Villon qui souhaite « décrire le constant apprentissage affectif face à notre environnement [...]. L'EAR correspond à une relation qui est générée depuis l'humain vers le monde sensible, et incorporée (*embodied*) » (Villon, 2020). Dans *Perversely Interactive System* (Lynn Hugues et Simon Laroche, 2004), une interface tactile capture le niveau de stress du participant via des mesures électrodermales. Quand l'individu parvient à réduire la résistance électrique de sa peau (diminuer son stress), une femme de synthèse d'abord représentée de dos se tournera pour tenter de le rejoindre. Appréhendable à distance, cette femme est dissociée visuellement du participant même si celui-ci la contrôle par la régulation de son activité physiologique. Cette tournure narrative nous amène de fait à une relation paradoxale, unifiante malgré la distance, qui supposerait l'existence d'un « autre moi », mais qui consiste en fait en la présence ici personnifiée des états du corps du participant. Mise en système, c'est-à-dire devenue « autonome » (Couchot, 2015 : 86), la *biofeedback loop* permet à l'expérience d'adopter une épaisseur artistique qui se détache progressivement d'un contenu « pseudo-réaliste » (la représentation) afin de cibler préférentiellement un vécu « extraordinaire » pour l'individu (la transformation, la métamorphose). Dans le cadre d'une *biofeedback loop* de « soi-à-soi », le corps du participant se confond à l'expérience artistique et inversement (il y a co-activité), faisant d'abord du « dépassement de *soi* » par l'apprentissage soma-esthétique (la régulation émotionnelle) et de « l'harmonie » (aboutissement de l'exercice soma-esthétique) les maîtres mots de ce type d'expérience artistique.

Qu'advient-il en revanche du façonnement de *soi* quand il s'élabore à partir de deux ou d'un collectif d'individus pris dans de tels contextes médiatiques ?

### Vers l'intersubjectivité : l'expérience empathique, dialogique et fusionnelle

Le façonnement du *soi* et nos systèmes autopoïétiques se complexifient lorsque nos environnements artistiques incorporent les signaux biologiques de deux individus. Dans le cadre de la réalité virtuelle, Chen évoque ces types de configurations sous le nom d'« environnements collaboratifs » (Chen, 2019 : 68), impliquant « différents types d'interaction » entre les individus<sup>19</sup>. Lux *et al.* (2018 : 260) supposent que ces types d'échanges peuvent s'effectuer « de soi-à-autrui : les données physiologiques de l'utilisateur sont transmises à un autre utilisateur » ou « d'autrui-à-soi : l'utilisateur perçoit les informations physiologiques d'un autre utilisateur ». À notre avis, les systèmes collaboratifs (artistiques) sont plus complexes et se rapprochent de nos fonctionnements sociaux ordinaires.

Dans un premier cas de figure, l'expérience artistique s'appuie sur la permutation des éprouvés intéroceptifs. Je perçois dans l'environnement la valeur intéroceptive de l'expérience esthétique d'autrui et inversement (autrui interagit donc avec l'espace dans lequel je suis immergé). Nous nommerons ce cas d'étude précis, « l'expérience empathique », l'empathie se trouvant être le phénomène cognitif par lequel deux individus peuvent « échanger de place »<sup>20</sup>. Ce phénomène ici médiatisé est d'autant plus réalisable en réalité virtuelle que le dispositif (visiocasque) permet d'échanger visuellement de place avec autrui<sup>21</sup>. Dans ce cas de figure, *via* le dispositif de télé-présence, les individus sont plongés dans un monde « interverti ». Les sujets immergés et interagissant se regardent finalement agir dans une perspective hétérocentrée (à travers les yeux d'autrui). Nous pourrions envisager que de telles expériences empathiques pourraient exister en réalité virtuelle d'après les facteurs artistiques préalablement cités, mais aucune œuvre de ce type n'a pas pu être constatée par nous à ce jour. Néanmoins au stade de la recherche expérimentale, Chen (2019) a étudié l'impact des différentes modalités sensorielles sur l'effet de présence dans un environnement de réalité virtuelle dit « émotionnel » durant l'échange de données cardiaques entre deux individus. L'un sent (haptique, *via* des *controllers* HTC Vive) et entend (audio, *via* des écouteurs Logitech) les battements du cœur d'autrui (capteurs physiologiques Zephyr) (Chen, 2019 : 69). Ces mesures modifient les valeurs esthétiques de l'environnement dans lequel est immergé le participant et donc sa propre expérience.

Dans un deuxième cas de figure, les signaux biologiques des deux participants investissent un espace commun (dialogique) dans lequel ces derniers

19 Cette acception s'étend à des configurations plus collectives.

20 « Théorie de la manipulation des points de vue » (Berthoz, 2004 : 251-275).

21 Les expériences *GenderSwap*, *Library of ourselves*, *La noia de les lagrimes vermelles* du BeAnotherLab (*the machine to be another*) permettent d'échanger les informations extéroceptives et proprioceptives d'un visiocasque à l'autre.

restent isolés et discernables. Les deux individus mis en compétition<sup>22</sup> ou en discussion<sup>23</sup> peuvent faire l'estimation de leur propre état corporel ainsi que celui d'autrui et tenter de les faire communiquer par la régulation émotionnelle.

Dans un troisième cas de figure, les données intéroceptives des deux participants se confondent dans l'expression artistique (dans l'environnement) produisant plutôt une expérience fusionnelle<sup>24</sup>. L'agence autrichienne Coop Himmelb(l)au créée par Wolf D. Prix, Helmut Swiznsky et Michaël Hölzer a mis au point en 1969 un dispositif (*Heat Space - Astro Balloon*) capturant le rythme cardiaque du participant et le retranscrivant en sons et lumières. En 2008, pour la 11<sup>e</sup> biennale d'architecture de Venise ce dispositif est revisité et intègre désormais deux participants dans une structure s'apparentant à un « cerveau ». L'expérience individuelle de 1969 reflétant l'activité interne d'un seul individu, propose désormais une forme autopoïétique plus complexe, se rapprochant davantage de l'expérience ordinaire humaine, c'est-à-dire intersubjective.

### Le façonnement de *soi* via l'expérience collective

L'expérience physiologique à deux, qui est mesurée et symbolisée artistiquement *via* l'usage de la *biofeedback loop*, fait office de métaphore pour le rapport intersubjectif qui est à l'œuvre entre les individus. Dans des configurations plus collectives, quand elle produit un seul paysage audiovisuel<sup>25</sup> (et potentiellement tactile), la médiatisation des données biométriques produira un regard homogénéisé et omniscient sur une étendue du « corps » social, supprimant de fait les injustices et les stigmatisations culturelles<sup>26</sup>. Elle accomplirait d'autant plus ce processus d'harmonisation et de généralisation qu'au cours de certaines expériences, par contagion émotionnelle, les individus construirait un « lien physiologique » (en anglais, *a physiological linkage*<sup>27</sup>) entre eux. Elle s'institue donc dans sa forme comme un projet humaniste. En théorie, l'expérience interactive usant de la *biofeedback loop* tendrait vers une « soma-esthétique du corps social » en permettant à chaque individu d'expérimenter à un moment donné,

22 Brainball, Hjelm et Browall, 2000 (EEG, PC).

23 *Hive Mind*, Sean Montgomery, 2017 (EEG, vidéoprojecteur) ; *Mesuring the magic of mutual gaze*, Suzanne Dikker, 2011-2014 (EEG, vidéoprojecteur).

24 *Eudaimonia*, Lisa Park, 2015 (EEG, Emotiv EPOC).

25 Dans *Grove*, Shilo Shiv Sulemant (2016, Burning Man), une forêt interactive est contrôlée par la respiration des participants. Celle-ci provoque des transformations de lumière (LED) sur les fleurs et des changements de couleur sur les branches des arbres. Dans *Pulse Park* de Rafael Lozano-Hemmer (2008), les variations cardiaques des participants sont représentées en faisceaux lumineux dans le parc du Madison Square. Dans *My Virtual Dream* (Natasha Kovacevic, Petra Ritter, William Tays *et al.*, 2013), vingt individus produisent un paysage audiovisuel à partir de deux états cérébraux « la relaxation » (performance alpha) et « la concentration » (performance beta ; EEG « Muse » sans fil).

26 Dans *Heartmonic* (Lisa Park, 2016) chaque capture cardiaque prélevée sur les participants est assignée à un instrument de musique. Lisa Park, ici cheffe d'orchestre, provoque différentes situations émotionnelles et « sportives » (des rencontres, des mouvements de danse, des chaussettes, etc.) et fait ainsi varier le morceau, le tempo de chaque instrument se modifiant en fonction de l'intensité des battements cardiaques ; à l'échelle d'une ville dans *Feedback Vibration City* (Coop Himmelb(l)au, 1971).

27 « Le lien physiologique fait référence à la mesure dans laquelle les signaux physiologiques de deux personnes ou plus sont associés, comme une augmentation mutuelle de la fréquence cardiaque au cours d'une expérience partagée » (Järvelä *et al.*, 2016 : 2).

un état de la société à son stade le plus essentiel et le plus fondamental, celui du corps, de son fonctionnement vital (viscéral, végétatif).

## Conclusion

Lorsqu'il est produit par les œuvres d'art usant d'une *biofeedback loop*, le processus d'autopoïèse (du façonnement de *soi*) dépend de nombreux facteurs technologiques, médiatiques (le type d'environnement généré pour l'expérience), artistiques (les choix de modèles et de mesures rendant l'œuvre autonome) et contextuels (la présence d'un ou plusieurs corps humain dans l'expérience, appréhendée via la physiologie et la psychologie cognitive). Nous résumons dans le tableau ci-après, les sous-catégories évoquées dans l'article en les classant en fonction de l'environnement : réel, virtuel à distance, virtuel avec immersion corporelle. Ces critères mettent en avant les conditions d'immersion et d'interaction émotionnelle et le façonnement autopoïétique dans lequel l'individu est pris au cours d'une expérience. Ils sont aussi un nouveau moyen de définition, de catégorisation des œuvres d'art interactives, se trouvant volontairement à l'intersection des modalités fondamentales de l'expérience artistique, dans l'objectif de saisir les différents éléments dialogiques en jeu.

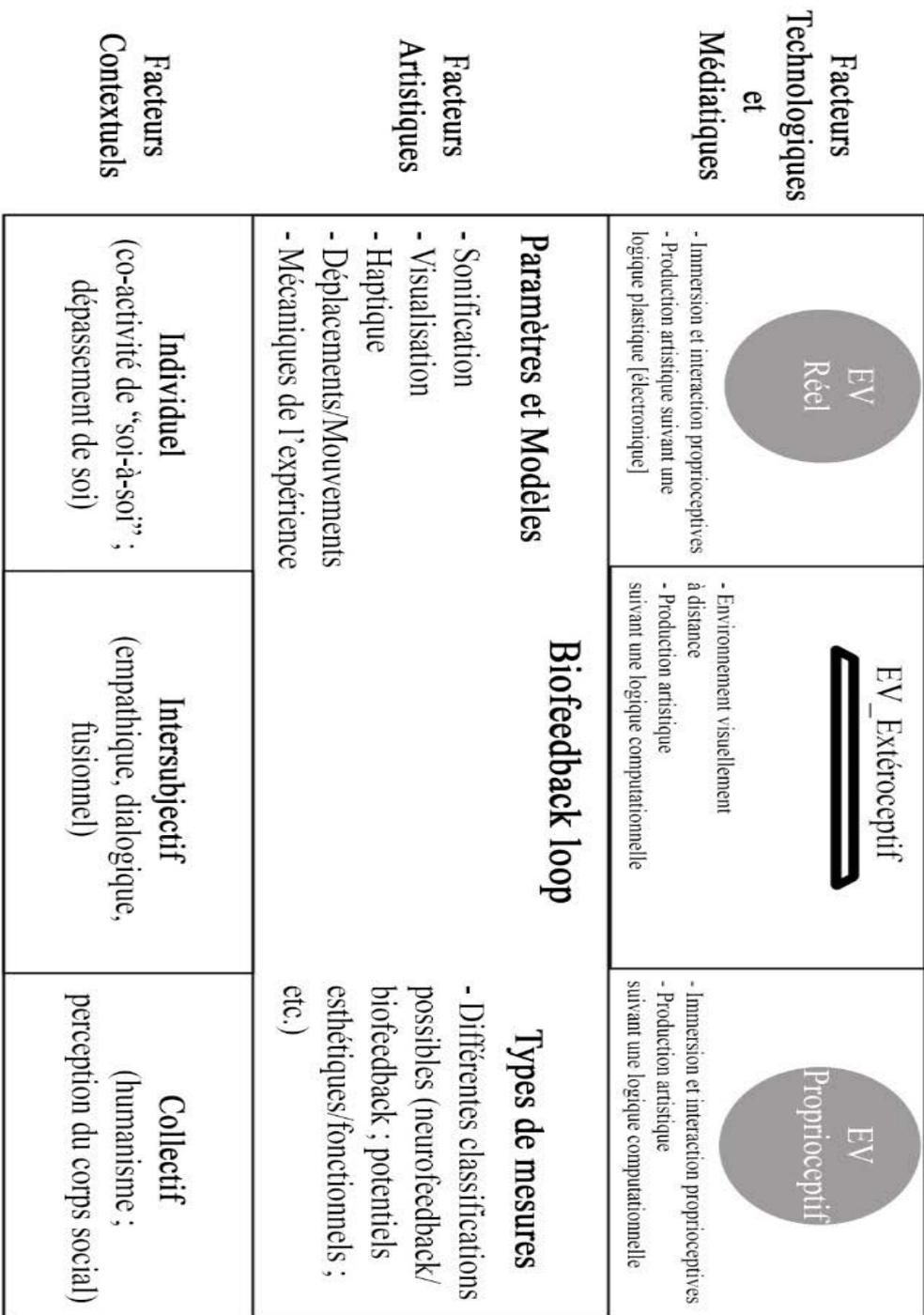


Fig. 7. Schéma représentant les facteurs technologiques, artistiques et contextuels à l'œuvre lors de l'élaboration d'œuvres usant de la *biofeedback loop*.

Dans le présent article, nous avons tenté de décrire les mécanismes du façonnement de *soi* en nous appuyant sur un corpus d'œuvres interactives, à un stade que nous considérons encore comme introductif. Il serait intéressant de dépasser ce niveau préliminaire de recherche pour l'approfondir davantage, en considérant une réflexion qui embrasserait plus en profondeur, par exemple, les principes et approches proposés par R. Shusterman *via* la soma-esthétique expérientielle.

## Œuvres citées

- Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback (consulté le 29 avril 2020) : « Biofeedback loop ». <https://www.aapb.org/14a/pages/index.cfm?pageid=3463>
- ALY, Luis, PENHA, Rui et BERNARDES, Gilberto, « Biosensing in Interactive Art : A User-Centered Taxonomy », *Encyclopedia of Computer Graphics and Games*, Basingstoke, Springer Nature, 2018.
- BARRASS, Stephen et VICKERS, Paul, « Sonification Design and Aesthetics », Thomas Hermann, Andy Hunt et John G. Neuhoff (dir.), *The Sonification Handbook*, Berlin, Logos Verlag, 2011, p. 145-172.
- BENALI-KHOUDJA, Mohamed, HAFEZ, Moustapha et KHEDDAR, Adberahmane, « VITAL : An electromagnetic integrated tactile display », *Displays*, 28, 2007, p. 133-144.
- BERTHOZ, Alain, « Physiologie du changement de point de vue », *L'empathie*, n° 1, 2004, p. 251-275.  
———, *Le sens du mouvement*, Paris, Odile Jacob, 2008.
- BONGERS, Bert, « Physical interfaces in the electronic arts : interaction theory and interfacing techniques for real-time performance », Marc Battier et Marcelo M. Wanderley (dir.), *Trends in Gestural Control of Music*, Paris, Centre Georges Pompidou, 2000, p. 41-70.
- BREWSTER, Stephen et BROWN, Lorna, « Tactons : Structured tactile messages for non-visual information display », *Fifth Australasian User Interface Conference (AUIC 2004). Proceedings*, Dunedin, Australasian Computer Society, 2004, vol. 28, p. 15-23.
- BROWN, Lorna, BREWSTER, Stephen et PURCHASE, Helen, « A first investigation into the effectiveness of tactons », *First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, Pise, IEEE, 2005, p. 167-176.
- CHEN, Hao, « Emotion Sharing in Virtual Reality », University of Canterbury, 2019.
- CNRTL (consulté le 29 avril 2020) : « Visualisation ». <https://www.cnrtl.fr/definition/visualisation>
- COUCHOT, Edmond, « La relation intersubjective dans les arts immersifs présence et temporalités », *CORPS*, 13, 2015, p. 83-96. <https://doi.org/10.3917/corpi.013.0083>
- COWEN, Alan, SAULER, Disa, TRACY, Jessica *et al.*, « Mapping the Passions : Towards a high-Dimensional Taxonomy of Emotional Experience and Expression », *Psychological Science in the Public Interest*, n° 20, 2019, p. 69-90.
- DAMASIO, Antonio, *L'Erreur de Descartes. La raison des émotions*, Paris, Odile Jacob, 2017.
- DA SILVA, Gonçalo, NOGUEIRA, Pedro et RODRIGUES, Rui, « Multimodal vs. unimodal biofeedback in videogames : An empirical player study using a first-person shooter », *Iberian Conference on Information Systems and Technologies*, 9, 2014, p. 1-6.
- DOMBOIS, Florian et ECKEL, Gerhard, « Audification », *The Sonification Handbook*, Berlin, Logos Verlag, 2011, p. 301-324.
- FUCHS, Philippe, *Théorie de la réalité virtuelle. Les véritables usages*, Paris, Presses des Mines, 2018.
- GIL, Sandrine, « Comment étudier les émotions en laboratoire ? », *Revue électronique de psychologie sociale*, n° 4, 2009, p. 15-24.
- GILLEADE, Kiel Mark, DIX, Alan et ALLANSON, Jen, « Affective videogames and modes of affective gaming : Assist me, challenge me, emote me », *DiGRA International Conference : Changing Views : Worlds in Play*, 3, Vancouver, 2005.
- HJELM, Sara Ilstedt et BROWALL, Carolina, « Brainball-using brain activity for cool competition », *NordiCHI*, 7, Stockholm, 2000.

- HOUZANGBE, Samory, « Impact sur l'expérience utilisateur en environnement virtuel immersif de l'utilisation d'objets connectés portés pour la rétroaction physiologique », Paris, École nationale supérieure d'arts et métiers (ENSAM), 2019.
- JÄRVELÄ, Simo, KÄTSYRI, JARI *et alii*, « Intragroup emotions : Physiological linkage and social presence », *Frontiers in Psychology*, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00105>
- JOHN, Oliver et GROSS, James, « Healthy and unhealthy emotion regulation : Personality processes, individual differences, and life span development », *Journal of Personality*, n° 72, 2004, <https://doi.org/10.1111/j.1467-6494.2004.00298.x>
- KAWAMOTO, Hideo, « L'autopoïèse et l'"individu" en train de se faire », *Revue philosophique de la France et de l'étranger*, t. 136, n° 3, 2011, p. 347-363. <https://doi.org/10.3917/rphi.113.0347>
- KOCH, Ed et GAW, David, « Coactive aesthetics and control theory », *Proceedings of the 5<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Intelligent Control*, 1, 2000, p. 93-97.
- KRAMER, Gregory, BONEBRIGHT, Terri, COOK, Perry *et al.*, « The Sonification Report : Status of the Field and Research Agenda », Santa Fe, National Science Foundation by members of the International Community for Auditory Display (Rapport), 1999.
- KUICKANIEMI, Kai, LAITINEN, Toni, TURPEINEN, Marko *et al.*, « The influence of implicit and explicit biofeedback in first-person shooter games », *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, 2010, p. 859-868.
- LUTZ, Antoine, SLAGTER, Heleen A., DUNNE, John *et al.*, « Attention regulation and monitoring in meditation », *Trends in Cognitive Science*, 12, 2008, p. 163-169. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.01.005>
- LUX, Ewa, ADAM, Marc, DORNER, Verena *et al.*, « Live biofeedback as a user interface design element : A review of the literature », *Communications of the Association for Information Systems*, 43, 2018, p. 257-296.
- MATHEW, Deepa, « vSmileys : Imaging emotions through vibration patterns », *Alternative Access : Feelings & Games*, 2005, p. 45-50.
- MUÑOZ, John Edison, PAULINO, Teresa, VASANTH, Harry *et alii*, « PhysioVR : A Novel Mobile Virtual Reality Framework for Physiological Computing », *2016 IEEE 18th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)*, 2016, p. 1-6.
- NIEDENTHAL, Paula, « Embodying emotion », *Science*, 316, 2007, p. 1002-1005.
- NOGUEIRA, Pedro, TORRES, Vasco, RODRIGUES, Rui *et al.*, « Vanishing scares : biofeedback modulation of affective player experiences in a procedural horror game », *Journal on Multimodal User Interfaces*, 10, 2016, p. 31-62.
- ORTIZ, Miguel, COGHLAN, Niall, JAIMOVICH, Javier *et al.*, « Biosignal-driven Art : Beyond biofeedback », *Sonic Ideas*, 3, 2011.
- PARNANDI, Avinash et GUTIERREZ-OSUNA, Ricardo, « A comparative study of game mechanics and control laws for an adaptive physiological game », *Journal on Multimodal User Interfaces*, 9, 2015, p. 31-42.
- RABOISSON, Nathanaëlle, « L'expérience fait œuvre : l'action corporelle créatrice », *Proteus*, 6, 2013, p. 35-42.
- , « Esthétique d'un art expérientiel : l'installation immersive et interactive », Paris, Université de Paris VIII, 2014.
- RANI, Pramila, SARKAR, Nilanjan et LIU, Changchun, « Maintaining optimal challenge in computer games through real-time physiological feedback », *Proceedings of the 11th international conference on human computer interaction*, 58, 2005, p. 22-27.

- SHUSTERMAN, Richard, *Conscience du corps. Pour une soma-esthétique*, Paris / Tel Aviv, Édition de l'éclat, 2008.
- TANAKA, Ataru et KNAPP, Benjamin, « Multimodal interaction in music using the electromyogram and relative position sensing », *Proceedings of the 2002 conference on New Interfaces for Musical Expression*, Singapore, 2002, p. 1-6.
- VERMEULEN, Valery, « Affective Computing, Biofeedback and Psychophysiology as New Ways for Interactive Music Composition and Performance », *eContact!*, 2013. [https://econtact.ca/16\\_3/vermeulen\\_affectivecomputing.html](https://econtact.ca/16_3/vermeulen_affectivecomputing.html)
- VILLON, Olivier (consulté le 7 avril 2020) : « Relation Affective Incorporée ». <http://ovillon.free.fr>
- WALKER, Bruce et NEES, Michael, « Theory of Sonification », *The Sonification Handbook*, Berlin, Logos Verlag, 2011, p. 9-40.
- WHITHEAD, Alfred North, *Dialogues*, New York, The New American Library, 1956.
- ZHANG, Ning, YU, Bin et AN, Pencheng, « Creating Tactile Emotional Expressions Based on Breathing Patterns », *ChineseCHI'18*, Montréal, 2018, p. 164-167.

