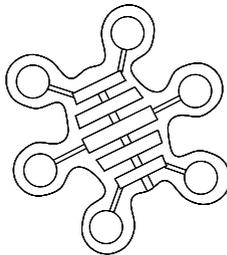


soft interaction

LINNÉA EKELÖF



Remerciements

Je tiens à exprimer ma gratitude à mon tuteur Ianis Lallemand, pour son soutien et ses conseils constants, qui ont été essentiels pour m'inspirer à former la structure de ce mémoire. Je remercie aussi mon maître de stage Andreas Hammar pour le partage de ses connaissances techniques qui m'ont permis de compléter mes expérimentations. Je tiens également à remercier Paco Pioline qui a été si généreux de son temps, en donnant des conseils concernant la formulation de la langue française. Pour conclure, je tiens à remercier ma mère pour tout son soutien inconditionnel.

Résumé

Les technologies récentes de la *soft robotic* restent un domaine peu exploré du point de vue artistique. Ce mémoire vise à expérimenter ces technologies en tant que médium artistique (la sculpture, l'installation interactive). A travers des expérimentations formelles et plastiques, l'objectif est de mettre en évidence la notion d'interaction entre l'œuvre et le spectateur en utilisant la respiration comme principe symbolique et opératoire. Ceci en combinant la recherche analytique et la recherche pratique pour explorer cette question, tout en fondant ces approches sur l'héritage historique de la cybernétique et sur l'histoire de l'art (*soft sculpture*).

Table des matières

1. Introduction	8
1.1 Contexte	9
1.2 Problématique	11
1.3 Aspects méthodologiques	11
1.4 Annonce du plan	11
2. Recherche scientifique et expérimentation artistique liée à la soft robotic	12
2.1 Qu'est-ce qu'un robot ?	14
2.2 La soft robotic	17
2.3 La soft sculpture : à travers l'art post-minimaliste et le process art	21
2.4 La cybernétique et les systèmes interactifs	26
3. La réponse physiologique à l'action des soft robots	33
3.1 Un robot au corps mou augmente-il l'empathie et la proximité émotionnelle avec le spectateur ?	35
3.2 L'activation du système de neurones miroirs face à l'action robotique	38
3.3 La respiration en relation avec la réponse émotionnelle	40
4. Exploration empirique	44
4.1 Processus de création de soft robots	46
4.2 Eupnea	50
4.3 Gaussia	52
4.4 Ammonoidea	56
4.5 Retours sur les expérimentations	58
5. Conclusion	59

1. Introduction

1.1 Contexte

Dans les années 1960, les premiers robots industriels ont commencé à apparaître grâce à des inventions telles que les machines-outils à commande numérique (CNC), les ordinateurs et les circuits intégrés. Ces robots ont pris en charge de nombreuses tâches humaines et ont largement contribué à augmenter la production industrielle. Aujourd'hui, les robots sont passés d'un simple outil de travail à un système autonome sophistiqué capable de détecter et d'interagir avec l'espace.¹ Afin de ne pas causer de dommages physiques aux humains, il a souvent été nécessaire de les isoler pour éviter tout contact physique. Cela a récemment changé avec des machines conçues pour fonctionner à proximité immédiate des humains dans un espace de travail partagé, comme les robots collaboratifs (cobots), fabriqués dans des matériaux légers, avec des bords arrondis ou une vitesse et une force bridée.²

Une autre solution aux problèmes liés à l'interaction homme-robot est le domaine de la *soft robotic*³ sur lequel nous nous concentrerons dans ce mémoire. Ces robots souples et flexibles sont fabriqués à partir de matériaux extensibles, tels que des caoutchoucs, des silicones ou des tissus, qui sont peu susceptibles de causer des dommages en cas de collision avec une personne. L'approche la plus courante pour générer le mouvement du robot est l'actionnement pneumatique, c'est-à-dire le fait de gonfler des canaux dans un matériau flexible pour provoquer une déformation, un mouvement.⁴

Parallèlement à l'apparition des robots industriels, dans les années 1960, un groupe d'artistes a commencé à créer des œuvres d'art qui sont entrées dans l'histoire sous le nom de soft sculpture, et dont l'apparition pourrait faire écho au passage de la robotique conventionnelle à la soft robotic. La soft sculpture traite de plusieurs notions différentes liées à la texture, étant réalisée à partir de matériaux tels que des caoutchoucs élastiques ou d'autres matériaux organiques légers.

1 Matarić, Maja J. « The robotics primer. » (Londre: MIT press, 2007): 14.

2 Forbes. « You've Heard Of Robots; What Are Cobots », consulté le 1 décembre 2021, <https://forbes.com/sites/cognitiveworld/2019/12/15/youve-heard-of-robots-what-are-cobots/?sh=4089e4044862>.

3 Dans le texte le terme « soft robotic » est conservé en anglais (robotique molle en français) car la notion de « mou » ne recouvre pas toutes les significations de « soft » en anglais.

4 Rus, Daniela, and Michael T. Tolley. « Design, fabrication and control of soft robots. » *Nature* 521, no. 7553, (2015) 467.

Bien que la plupart des soft sculptures soient immobiles et abstraites, les descriptions écrites qui sont faites d'elles soulignent souvent leurs similitudes avec des corps vivants, plaçant l'organique comme principe central de leur esthétique.⁵

À la même époque, les expositions *Software, Cybernetic Serendipity* et *The Machine as Seen at the End of Mechanical Age* ont eu lieu. Ces expositions sont liées aux recherches de Norbert Wiener et à la cybernétique, un domaine de recherche interdisciplinaire fondé sur l'hypothèse d'une analogie entre les machines et les organismes vivants, ainsi que certaines notions fondamentales comme celles du contrôle et de la rétroaction (feedback). Ces expositions répondent à ces recherches en explorant notamment la notion d'interactivité dans l'art et la technologie, réunissant des artistes et des scientifiques qui ont conçu divers systèmes cybernétiques.⁶

Actuellement, un petit nombre d'artistes ont créé des œuvres qui peuvent être assimilées à la technologie de la soft robotic. Des œuvres qui utilisent l'informatique, les microcontrôleurs ainsi qu'un matériau flexible qui est pliable ou déformable. Ces œuvres d'art se situent à l'intersection entre art et technologies émergentes et ont ouvert la porte à de nouveaux types d'interaction homme-robotique jusqu'alors inexplorés.

5 Jørgensen, Jonas. « From Soft Sculpture to Soft Robotics. Retracing Entropic Aesthetics of the Life-like », (2020): 223-224.

6 K.G Pontus Hultén, « Foreword and Acknowledgments » in *The Machine as Seen at the End of Mechanical Age* (exh. cat. New York: Museum of Modern Art, 1968): 3.

1.2 Problématique

Aujourd'hui, les soft robots sont utilisés dans des domaines tels que l'industrie ou les opérations chirurgicales, car la flexibilité de leur matériaux permet une meilleure interaction avec l'homme. Même s'il existe un petit nombre d'expérimentations artistiques liées à la soft robotic dans l'art contemporain, et qu'on peut établir un lien entre ce domaine et la soft sculpture et l'histoire de la cybernétique, les notions d'interactivité dans la soft robotic liées à l'expérience des spectateurs restent peu explorées. En tant que nouveau médium potentiel entre les mains des artistes on peut donc poser la question : Comment les expérimentations esthétiques et artistiques en soft robotic peuvent-elles augmenter l'interactivité humaine avec la sculpture/l'installation dans l'art contemporain?

1.3 Aspects méthodologiques

La méthode de ce mémoire s'appuie sur la notion de recherche artistique comme modalité d'un processus scientifique. Mes expérimentations sont ici vues comme des réflexions qui deviennent une partie de la réponse à la problématique.⁷ La perception et l'interprétation du comportement des soft robots par le spectateur en tant qu'entités vivantes ont guidé la formulation de la problématique. En plus de ça, la recherche dans le domaine de la soft robotic, a été source de motivation et d'inspiration pour le développement des expérimentations en tant que réflexions.

1.4 Annonce du plan

Dans une première partie, nous allons contextualiser et définir le domaine de la soft robotic. Nous nous intéresserons notamment à des notions comme la robotique, la soft sculpture et l'histoire de la cybernétique. Ensuite, dans un second temps nous introduisons l'hypothèse du mémoire et les recherches pertinentes. Enfin nous présenterons les différentes explorations empiriques et les résultats obtenus.

7 Klein, Julian. «What is artistic research?» *Journal for Artistic Research*, (2010), 4-5.

2. Recherche scientifique et expérimentation artistique liée à la soft robotic

L'art et la technologie continuent de remodeler et de définir le monde dans lequel nous vivons. À une nouvelle ère technologique, amenée par la première révolution industrielle, avec au centre la machine mécanique comme puissance musculaire, se succède une ère électronique qui imite les processus du cerveau et du système nerveux.⁸ Récemment, en réponse à plusieurs problèmes liés aux robots conventionnels, un nouveau domaine a émergé. Ces technologies de la soft robotique semblent partager plusieurs qualités esthétiques avec la soft sculpture, caractéristique du post-minimalisme de la fin des années 1960. Pourtant, le jeune domaine qu'est la soft robotique reste peu exploré d'un point de vue artistique, même s'il semble avoir un grand potentiel en tant que nouveau médium dans l'art interactif.

⁸ Hultén, « Foreword and Acknowledgments,»: 3.

2.1 Qu'est-ce qu'un robot ?

Le mot « robot » a été utilisé pour la première fois dans une pièce de théâtre de 1921 pour décrire des humains artificiels. Dans cette pièce, ce mot avait une connotation négative car après avoir travaillé sur une chaîne de montage dans une usine, la rébellion de ces machines avait conduit à l'extinction de la race humaine. Le nom robot vient du mot tchèque *robota*, il signifie « travail obligatoire », et est utilisé pour décrire ces hommes machines pour la première fois dans la pièce du dramaturge Karl Čapek intitulée *Rossum's Universal Robots*. Cette pièce de science-fiction se déroule dans les années 1960 qui correspond réellement à l'apparition des premiers robots industriels.⁹ Des inventions comme les machines-outil à commande numérique (CNC), l'ordinateur et le circuit intégré ont permis de créer les premiers robots industriels capable d'effectuer des tâches dangereuses, répétitives et monotones pour un humain, augmentant même les capacités de ce dernier, pouvant porter des charges plus lourdes sans se fatiguer. Ces premiers robots n'avaient pas de capteurs et étaient souvent monofonctionnels. Ensuite, ils ont été équipés de capteurs externes leur permettant de comprendre l'espace et ont pu prendre une place encore plus importante dans l'industrie améliorant la qualité, réduisant les coûts et augmentant la productivité.¹⁰

Cependant, un robot est bien plus qu'un simple outil de travail. Actuellement, la notion de robot est plus sophistiquée et recouvre un cadre plus large, incluant la résolution de problèmes, le raisonnement et la pensée. Il est défini comme un système autonome qui existe dans le monde physique et qui peut détecter et interagir avec l'espace, le parcourir pour atteindre des objectifs.

La robotique est l'étude des robots, de l'action et de la détection déterminées et autonomes dans le monde physique.¹¹ On dit que la première utilisation du terme robotique était dans l'un des écrits de science-fiction d'Isaac Asimov, basé sur le terme inventé par Capek, nommant ainsi ce vaste domaine de la science et de la technologie.¹² L'un des premiers robots, si nous acceptons la définition ci-dessus, est la « tortue » de W. Gray Walter en 1951. C'était un neurophysiologiste qui, en plus de poursuivre des recherches en neurosciences, étudiait la fonction cérébrale en analysant et en construisant des machines au comportement animal. Il a construit des machines qu'il a appelé « tortues », les plus connues s'appelaient Elsie et Elmer. Les tortues étaient de simples robots composés de trois roues, utilisant la roue avant pour se diriger et les deux roues arrière pour avancer.¹³ Parmi les premiers robots, on retrouve aussi *Shakey*, construit au Stanford Research Institute dans les années 1960. Il utilisait une caméra et des capteurs de contact. *Shakey* avait la capacité de percevoir et de raisonner sur son environnement. Il pouvait effectuer des tâches qui nécessitent une planification et le réaménagement d'objets.¹⁴



Image d'Elsie montrant une coque, des « antennes » en plastique et une lampe à l'avant. (Source: <http://cyberneticzoo.com/cyberneticanimals/w-grey-walter-tortoises-picture-gallery-2/>)



Charles Rosen avec *Shakey* en 1983. (Source: <https://history-computer.com/shakey-the-robot-complete-history-of-shakey-the-robot/>)

9 Matarić, Maja J. « The robotics primer. » (Londre: MIT press, 2007) 1.

10 RobotWorx. « Industrial Robot History » consulté le 28 novembre 2021, <https://robots.com/articles/industrial-robot-history>.

11 Matarić, «The robotics primer », 2-3.

12 Ibid., 5.

13 Ibid., 9.

14 Ibid., 14.

Aujourd'hui, le domaine des robots industriels est dominé par quatre grandes entreprises, KUKA, FANUC, ABB et Yaskawa Electric. Ceux-ci sont en service depuis au moins 40 ans et chacun est connu pour certaines fonctionnalités ou points forts. Il convient également de mentionner Boston Dynamics, une entreprise dérivée du M.I.T. maintenant détenue par Hyundai Motor Group. Leurs robots très mobiles ressemblant à des animaux sont utilisés dans l'armée, la fabrication ou tout ce qui nécessite des robots pouvant marcher facilement sur quatre pattes.¹⁵

Les robots sont très demandés dans de nombreuses industries, surtout dans la fabrication et la manutention. Cependant, pour ne pas causer de dommages physiques aux humains, ils doivent souvent être séparés pour éviter tout contact physique, que ce soit avec des cages ou dans des zones sans humains. Ces contraintes limitent leurs applications, c'est pourquoi il y a un désir de trouver de nouvelles façons d'augmenter l'interaction entre les robots et les humains. Alors que le terme robot peut encore sembler effrayant pour certains, peut-être en partie à cause de Čapek pour l'avoir associé aux craintes d'une rébellion robotique, le terme *cobot* a plutôt une connotation positive car il pointe vers les robots collaboratifs. Initiées par KUKA, ces machines sont conçues pour fonctionner à proximité immédiate des humains dans un espace de travail partagé. Sans danger de dommages physiques, ils augmentent et améliorent les capacités humaines avec précision, force et capacités de données. La sécurité des cobots repose sur des qualités telles que des limitations de vitesse et de force, des logiciels et des capteurs qui garantissent leur comportement sûr, des bords arrondis ou des matériaux légers.¹⁶

15 Online Robotics « Comparing the Top Industrial Robotics Brands », consulté le 6 décembre 2021, <https://onlinerobotics.com/news-blog/comparing-top-industrial-robotics-brands>.

16 Forbes. « You've Heard Of Robots; What Are Cobots », consulté le 1 décembre 2021, <https://forbes.com/sites/cognitiveworld/2019/12/15/youve-heard-of-robots-what-are-cobots/?sh=4089e4044862>.

2.2 La soft robotic

Comme mentionné ci-dessus, les robots traditionnels à corps rigides qui sont utilisés aujourd'hui sont souvent inadaptés dans leur interaction avec les humains, du fait de la rigidité de leur mécanisme d'actionnement. Contrairement aux robots durs, les soft robots ont des corps fabriqués à partir de matériaux intrinsèquement mous et extensibles, tels que des caoutchoucs, des silicones ou des tissus, qui ne peuvent causer aucun dommage en cas de collision avec un être vivant. Ces caractéristiques molles peuvent souvent être observées dans les systèmes biologiques, qui ont tendance à présenter une complexité réduite tout en interagissant avec leur environnement.

Une approche courante pour créer un mouvement dans les actionneurs consiste à gonfler des canaux dans un matériau souple pour provoquer la déformation souhaitée. Cette méthode est appelée actionnement pneumatique et est celle sur laquelle nous allons nous concentrer. L'actionnement semblable à un muscle offre un grand degré de liberté par rapport aux robots à corps dur. Puisqu'il a le potentiel de présenter une adaptation, une agilité et une sensibilité inégales, il peut se plier et se tordre, pénétrer dans des espaces confinés ou se déplacer sur un terrain accidenté avec résilience, en adaptant sa forme à l'environnement. Cela permet de tout explorer, du fond de l'océan à l'intérieur d'un corps humain pendant une intervention chirurgicale.¹⁷

17 Rus, Daniela, et Michael T. Tolley. « Design, fabrication and control of soft robots. » *Nature* 521, no. 7553, (2015): 467.

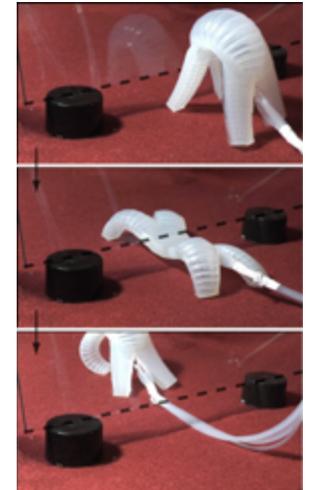


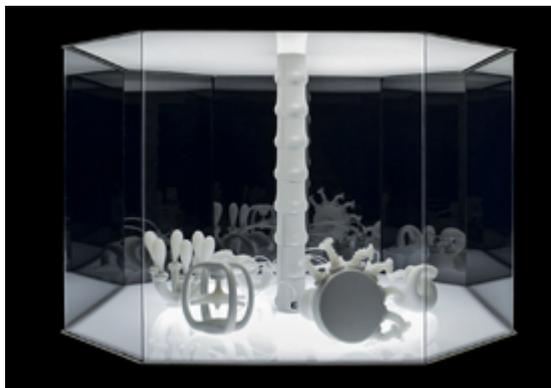
Photo fournie par l'Université Harvard/Robert F. Shepherd montrant un robot à corps mou naviguant sur un parcours d'obstacles. (Source: <https://americanscientist.org/article/bring-on-the-soft-robots>)



Soft robotic gripper par des chercheurs de l'UC San Diego (Source: <https://rdworldonline.com/gecko-inspired-adhesives-help-soft-robotic-fingers-get-a-better-grip/>)

À plusieurs niveaux, la soft robotic fournit un lien entre les systèmes vivants et artificiels, dans l'interaction entre les humains et les robots, et dans la cognition. Selon Pfeifer et Bongard, notre corps joue un rôle crucial dans notre façon de penser.¹⁸ Tout comme nos corps et nos cerveaux ont co-évolué, l'intelligence artificielle incarnée considère que les corps et cerveaux robotiques doivent se développer à l'unisson. Partant du calcul morphologique (processus qui sont conduits par le corps et l'environnement, qui autrement devraient être exécutés par le cerveau), suivant les principes de l'intelligence artificielle incarnée, le domaine de la soft robotique peut nous permettre de développer l'intelligence artificielle biologiquement inspiré d'une manière qui était impossible auparavant.¹⁹

Actuellement, un petit nombre d'artistes ont créé des œuvres qui peuvent être considérées comme utilisant la technologie de la soft robotic. C'est-à-dire qui utilise une technologie computationnelle, des microcontrôleurs ainsi qu'un matériau souple pliable ou déformable. Quelques exemples sont évoqués dans les recherches de Jørgensens, comme *Exobiote*, 2015, de Jonathan Pêpe, réalisé avec des chercheurs en soft robotic de l'Université de Lille. L'installation est composée de plusieurs petites pièces en caoutchouc de forme organique dans une boîte transparente. Elles sont destinées à être présentées comme des organes prothétiques artificiels, se réunissant comme un organisme pneumatique. Un autre exemple est l'installation d'Ozge Akbulut et Ece Polen Budak,



Jonathan Pêpe, *Exo-biote*, 2014-2015. Installation pneumatique. Impressions 3d plâtre, moulage silicone, tuyaux pvc, cathéter, verre, métal, bois, plexiglas, LED, compresseur, distributeurs, arduino mega, circuit imprimé, 2x1,5x1,5m (Source: <https://jonathan-pepe.com/Exo-biote-variation-0>)

18 Pfeifer, R, Bongard, J. et Grand, S. *How the body shapes the way we think: a new view of intelligence* (MIT Press, 2007): 1.

19 Rus, et Tolley. «Design, fabrication and control of soft robots.»: 478-479.

construite avec les roboticiens soft Adam A. Stokes et Onur Zirhli de l'Université d'Édimbourg. Leur installation *The Breathing wall (BRALL)*, 2015, est composée de panneaux d'une structure de paroi souple en silicone qui respire et gonfle tandis qu'un enregistrement audio de respirations humaines est diffusé par des haut-parleurs. Les spectateurs sont invités à toucher la structure et à interagir avec l'œuvre qui se gonfle au gré des mouvements, détectés par les capteurs intégrés.²⁰

Dans l'installation *Intertidal synthesis*, 2019, le duo d'artistes Studio ThinkingHand présente une installation vidéo sculpturale d'agents soft robotiques filmés dans les vasières du Danemark et de la Corée du Sud. Devant les trois écrans vidéo se trouvent quatre soft robots posés sur trois socles transparents. Ils visent à explorer les zones technologiques, biologiques et intermédiaires des machines et des organismes.²¹



Ozge Akbulut et Ece Polen Budak, *BRALL*, 2015, silicone sur panneau polycarbonate, 145cm x 145cm. (Source: <https://soft-systemsgroup.com/2016/03/28/breathing-wall/>)



Studio ThinkingHand, *Intertidal synthesis*, 2019 Installation vidéo, soft robots, acrylique, acier. (Source: <https://studiothinkinghand.com/works/intertidal-synthesis.html>)

20 Jørgensen, Jonas. « Prolegomena for a Transdisciplinary Investigation Into the Materialities of Soft Systems », (2019): 154-156.

21 Studio ThinkingHand. « Intertidal Synthesis », consulté le 3 décembre 2021, <https://studiothinkinghand.com/works/intertidal-synthesis.html>.

Un autre exemple récent est l'installation interactive *AuxeticBreath*, 2021 de Youn Hye-jun qui visualise les modèles rythmiques des respirations humaines collectives en utilisant la technologie de la soft robotic et la structure auxétique²². Lorsque le public interagit avec l'œuvre, celle-ci commence à respirer plus rapidement et passe du bleu clair au rouge. Le but de cette installation était de réfléchir à l'évolution de la perception de la respiration pendant la pandémie.²³

Youn Hye-jun, *AuxeticBreath*, 2021, 16 pièces de forme ovale qui incorporent la soft robotique à base de silicone recouverte d'une couche de structures auxétiques à motifs géométriques (Source: <https://red-dot.org/project/auxeticbreath-54376>)



22 Les motifs auxétiques s'agrandissent en section transversale lorsque on tire dessus, au lieu de s'allonger dans juste une direction.
 23 Youn Hye-jun « Auxetic », consulté le 3 décembre 2021, <https://hyejunyou.com/Auxetic>.

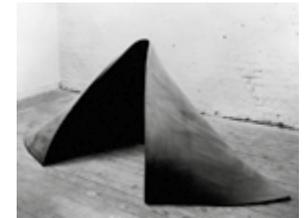
2.3 La soft sculpture : à travers l'art post-minimaliste et le process art

À la fin des années 1960, un groupe d'artistes a commencé à créer des œuvres d'art qui sont entrées dans l'histoire en tant que soft sculpture, et dont l'apparition pourrait faire écho au passage de la robotique conventionnelle à la soft robotic, notamment en ce qui concerne le choix des matériaux et l'esthétique organique qui s'en dégage. Cette nouvelle tendance était associée au Process Art, au Post-minimalisme et à l'Anti-Forme. La soft sculpture traitait de plusieurs notions différentes liées à la mollesse, certaines œuvres montraient un processus physique de matière fondue ou déformée plastiquement, d'autres étaient faites de caoutchoucs élastiques, tandis que certaines utilisaient des matériaux souples ou légers. Même si la plupart des soft sculptures étaient immobiles et non figuratives, la critique mettait souvent l'accent sur leurs similitudes avec les corps vivants, plaçant l'organisme comme principe central de leur esthétique.²⁴

Alors que les artistes commençaient à se détacher de l'esthétique ordonnée qui était au cœur de l'art minimaliste, Robert Morris a écrit son texte *Anti-Form* en 1968, en réaction à l'esthétique minimaliste qu'il poursuivait auparavant.



Eva Hesse, *Untitled*, 1969-1970, latex, ficelle, corde, et fil, dimensions variables. (Source: <https://whitney.org/collection/works/5551>)



Richard Serra. *To Lift*. 1967, caoutchouc vulcanisé. (Source: <https://moma.org/audio/play-list/1/8>)



Claes Oldenburg, *Soft Light Switches 'Ghost' Version*, 1963, Lixitex et graphite sur toile avec remplissage, monté sur panneau de bois (Source: <https://en.museuberardo.pt/collection/works/921>)

24 Jørgensen, Jonas. « From Soft Sculpture to Soft Robotics. Retracing Entropic Aesthetics of the Life-like », 2020: 223-224.

Il mentionne Jackson Pollock comme un pionnier de la refonte de la création artistique et de la manière d'envisager le rôle à la fois de l'outil et de la matière dans le processus de fabrication.

« Lorsque Pollock utilise son bâton pour faire couler de la peinture sur une toile, il reconnaît ses qualités fluides, tout en la transformant et en la contrôlant comme le ferait un pinceau, il reconnaît les propriétés et les tendances propres à la peinture. »²⁵ Morris Louis, un autre peintre de l'expressionnisme abstrait, a également travaillé de cette manière. Comme sa méthode consistait à verser le liquide avec son propre récipient, il aurait pu s'approcher encore plus de la question des propriétés physiques de la matière que Pollock.²⁶



Jackson Pollock dégoûlant de peinture sur une toile. (Source: <https://timenote.info/en/Jackson-Pollock>)



Robert Morris, *Wall Hanging*, 1969 - 1970. Pièce de feutre découpé et suspendu au mur. (Source: <https://www.centrepompidou.fr/fr/ressources/oeuvre/c5eBbqa>)

25 Morris, Robert. « Anti-Form. » In *Continuous Project Altered Daily: The Writings of Robert Morris*, ed. Robert Morris, (Cambridge MA and New York: MIT Press, 1966) 43, ma traduction.

26 Ibid., 43

En 1966 à New York, la critique d'art Lucy Lippard a organisé l'exposition *Eccentric Abstraction*, où elle a réuni des artistes qui représentaient une nouvelle tendance dans l'art. Les œuvres ont ravivé l'intérêt pour les traditions surréalistes et dada au sein du mouvement abstrait et étaient toutes faites de matériaux simples qui n'étaient normalement pas utilisés pour les sculptures. Beaucoup étaient organiques, doux, certains pouvaient être touchés. L'une des artistes était Eva Hesse, qui souhaitait que son travail soit vu tel qu'il est, et non comme une représentation d'autre chose. Au lieu de cela, elle voulait créer un art qui, selon les termes de l'œuvre d'art, établissait une relation avec le spectateur. Cette envie de se rapporter au spectateur se retrouve également dans le travail de Lygia Clark qui les invitait souvent à interagir avec ses sculptures en mouvement pour créer une relation physique.²⁷

L'exposition *Eccentric Abstraction* à la Fischbach Gallery à New York (Source: <https://aaa.si.edu/collections/items/detail/installation-photograph-eccentric-abstraction-show-fischbach-gallery-new-york-city-17965>)



27 Moderna Museet i Stockholm. « *Eccentric Abstraction* », consulté le 25 novembre 2021, <https://www.modernamuseet.se/stockholm/en/2019/11/14/eccentric-abstraction/>.



Lygia Clark, *Trepante* (soft work), 1964, caoutchouc synthétique. (Source: <https://www.artbasel.com/catalog/artwork/27670/Lygia-Clark-Trepante-soft-work>)



Lygia Clark. *Obra mole* (Soft Work) 1964, caoutchouc synthétique. (Source: <https://sophia.smith.edu/global-modern-women-artists/lygia-clark/art-and-analysis/>)

Par exemple, elle a créé une série d'œuvres telles que *Trepantes* (Climbings, 1964) et *Obra Mole* (Soft work, 1964) où la participation du public était importante. Avec sa pièce *Caminhando* (Trailing, 1964), elle fait la transition vers ce qui définit son travail ultérieur. Les spectateurs étaient invités à découper un ruban de Möbius et à manipuler le papier, transformant ainsi l'œuvre en acte poétique. Ces œuvres ont défini ce qui a conduit Clark à ses expériences ultérieures axées sur le corps. Avec ses objets sensoriels, elle visait à élargir la perception et à provoquer différentes émotions.²⁸



Lygia Clark. *Caminhando* (Trailing). 1964, caoutchouc synthétique. (Source: <https://moma.org/audio/playlist/181/2392>)

28 Gloria Ferreira « The Breath Is Up to You: On Some Works by Helio Oiticica, Lygia Clark, and Lygia Pape » dans *practicable: From Participation to Interaction in Contemporary Art*. ed. Bianchini, Samuel, et Erik Verhagen, Leonardo. (Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2016) 120.

2.4 La cybernétique et les systèmes interactifs

En 1947, le mathématicien du M.I.T Norbert Wiener et son collègue de Harvard Arturo Rosenblueth, ont inventé le terme cybernétique. Fondamentalement, il font référence à «l'ensemble des problèmes centrés sur la communication ou le contrôle que ce soit dans des machines ou des tissus vivants».²⁹ Avec plusieurs autres scientifiques, les recherches de Wiener ont conduit à une théorie selon laquelle le comportement de toutes les machines, organismes et autres systèmes physiques sont contrôlés par leurs structures de communication, en eux-mêmes et avec leur environnement.³⁰ Les tortues robots électromécaniques (1948) de Gray Walter mentionnées précédemment, ont contribué de manière importante à l'essor de la cybernétique. Ils pourraient être considérés comme un modèle de cerveau adaptatif, mais primitif. Avec juste un capteur de contact, une cellule photoélectrique et deux tubes à vide, les tortues imitaient le mouvement de vrais animaux. En adoptant un comportement semblable à celui d'un papillon de nuit, les robots erraient constamment autour des lumières.³¹

En 1964, la même année où Robert Morris écrit son texte *Anti-forme*, K.G. Pontus Hultén expose plusieurs artistes au Museum of Modern Art de New York.



Vue d'installation de l'exposition, *The Machine as Seen at the End of Mechanical Age* (Source: https://www.moma.org/calendar/exhibitions/2776/installation_images/19648)

29 Wiener, Norbert « Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine » (The M.I.T. Press: Cambridge, Massachusetts, 2nd edition, 1961): 11.

30 Burnham, Jack. « Notes on art and information processing » SOFTWARE Information Technology : its new meaning for art. exh. cat. (New York: The Jewish Museum, 1970): 10-14.

31 Pickering, Andrew. « The Cybernetic Brain : Sketches of Another Future » (Chicago: University of Chicago Press, 2011): 43-44.

L'exposition *The Machine as Seen at the End of Mechanical Age*, traitant de l'art et de la technologie, évoque le début d'une nouvelle ère technologique. Il y déclare que « la machine mécanique - qui peut le plus facilement être définie comme une imitation de nos muscles - perd sa position dominante parmi les outils de l'humanité ; tandis que les appareils électroniques et chimiques - qui imitent les processus du cerveau et du système nerveux - deviennent de plus en plus importants. ».³²

Outre Hultén, il y avait un autre commissaire qui reconnaît ce progrès technologique décrit par Wiener. En août 1968, Jasia Reichardt a organisé l'exposition *Cybernetic Serendipity* à l'Institute of Contemporary Arts de Londres. Il visait à montrer comment les nouvelles technologies de l'information transformaient l'art et la science en exposant beaucoup plus d'œuvres électroniques que l'exposition de Hultén n'en avait présenté. *Cybernetic Serendipity* mettait l'accent sur les informations de base liées au développement historique des ordinateurs et contenait également des expériences scientifiques et des travaux artistiques qui utilisaient le principe

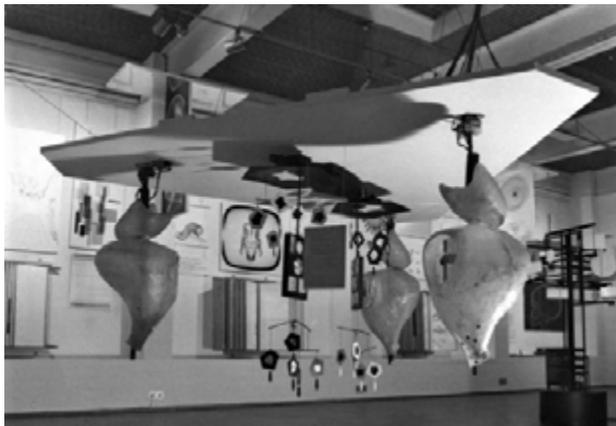


Vue d'installation de l'exposition, *Cybernetic Serendipity*, 1968 (Source: <https://cyberneticserendipity.net/>)

32 K.G Pontus Hultén, « Foreword and Acknowledgments » in *The Machine as Seen at the End of Mechanical Age* (exh. cat. New York: Museum of Modern Art, 1968), 3, ma traduction.

de la rétroaction dans des machines capables de répondre à des stimuli externes.

Les deux expositions mentionnées ci-dessus ont offert une nouvelle expérience, invitant les visiteurs à interagir avec des artefacts équipés de capteurs de son et de lumière qui ont provoqué des changements dans l'environnement. Ces nouvelles technologies correspondent bien aux tendances artistiques des années 1960 - le souhait de créer une communication plus intense entre l'œuvre et le spectateur par une relation plus directe et physique. Gordon Pask, l'un des représentants les plus importants de la cybernétique, a contribué au travail interactif le plus complexe de *Cybernetic Serendipity*. Son installation, *Colloque des mobiles*, 1968, était composée de cinq mobiles suspendus rotatifs qui pouvaient communiquer entre eux par le son et la lumière. Les mobiles semblaient être dans une sorte de parade nuptiale entre deux « mâles » équipés de faisceaux lumineux et trois « femelles » qui réfléchissent la lumière sur les capteurs des



Gordon Pask, *The Colloquy of Mobiles*, ICA London 1968
(Source: <https://cyberneticserendipity.net/>)

mâles, ce qui débouchait sur une satisfaction partagée. Les spectateurs pouvaient interférer dans cette communication et l'influencer à l'aide de lampes de poche et de miroirs. L'installation était également dotée d'une capacité d'apprentissage qui réduisait le temps et les efforts nécessaires à la lumière pour trouver les miroirs.³³

Une autre exposition marquante a été organisée par l'historien d'art et critique Jack Burnham. En 1970, *Software - Information Technology: Its New Meaning for Art*, a ouvert ses portes au Jewish Museum de New York. Il y a réuni des artistes, des ordinateurs et divers appareils cybernétiques. Il invitait le public à répondre individuellement à des situations structurées, démontrant ainsi l'effet des techniques de contrôle et de communication entre les mains des artistes.³⁴

Alors que les expositions de Reichardt et Hulten étaient principalement rétrospectives, celle de Burnham se tournait vers l'avenir. Elle visait à présenter des travaux qui redéfinissent l'art à l'ère de l'informatique, montrant des œuvres et projets contemporains à la pointe du développement technologique. Par exemple l'oeuvre *News*, 1969-70, par Hans Haacke, est une installation composée de cinq téléscripteurs connectés à des services d'informations commerciales, qui produisent des impressions que les téléspectateurs sont encouragés à lire.



Hans Haacke, *News*, 1969.
(Source: *Software*, catalogue d'exposition)



Seek, 1970 par Nicholas Negroponte avec l'Architecture Machine Group, M.I.T. (<https://www.arshake.com/en/software-at-the-jewish-museum/>)

-
- 33 Margit Rosen « Gordon Pask's Cybernetic Systems: Conversations After the End of the Mechanical Age » dans *Practicable: From Participation to Interaction in Contemporary Art*. ed. Bianchini, Samuel, et Erik Verhagen, Leonardo. (Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2016): 25-26.
- 34 Burnham « Notes on art and information processing »: 14.

Machine Group au MIT a montré un environnement fermé et contrôlé par ordinateur rempli de petits blocs, habités par des gerbilles, qui modifient continuellement la position des blocs tandis qu'un bras robotique était programmé pour changer la configuration des blocs.

Ainsi, *Software* est considéré comme un premier exemple significatif d'utilisation de la technologie interactive dans l'art. La prémisse de l'exposition était la même que celle qui soutenait la théorie de l'esthétique des systèmes de Jack Burnham, introduite dans plusieurs de ses essais sur les systèmes. Cette théorie a été la première significative à réfléchir sur la fréquence croissante de la technologie interactive dans l'environnement social des années 1960 et à chercher à la relier à la présence du spectateur.³⁵



Photo des gerbilles
qui habitent
l'installation *Seek*
(Source: [http://
cyberneticzoo.com/
robots-in-art/1969-
70-seek-nicholas-
negro-ponte-
american/](http://cyberneticzoo.com/robots-in-art/1969-70-seek-nicholas-negro-ponte-american/))

35 Skrebowski, Luke « The Artist as Homo Arbitr Formae: Art and Interaction in Jack Burnham's Systems Essays » dans *Practicable: From Participation to Interaction in Contemporary Art*. ed. Bianchini, Samuel, et Erik Verhagen, Leonardo. (Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2016): 39-41.

Alors, qu'est-ce que l'interaction? Selon Simon Penny, la réponse à cette question varie considérablement selon le point de vue. Par exemple, l'action de regarder une photographie n'est pas considérée comme un acte d'interaction. Il est vrai qu'un spectateur peut avoir des expériences variables en raison d'associations personnelles ou en ce qui concerne les changements dans les conditions de l'espace, mais comme la photographie ne change pas ou ne répond pas à son environnement, elle ne doit pas être considérée comme interactive. Du point de vue de la conception de la machine, les exigences pour que quelque chose soit considéré comme un système interactif sont qu'il collecte des données à propos de son environnement et y réagit avec une sortie significative, de sorte que l'utilisateur qui le manipule perçoit les effets de ses actions.³⁶

Pour en revenir au sujet central, avec cette notion d'interactivité en tête on peut se poser la question : Que se passe-t-il chez le spectateur lorsqu'il est confronté à un robot constitué d'un matériau mou ? Avec l'héritage de la soft sculpture et l'histoire de la cybernétique en ce qui concerne les systèmes interactifs, l'effet de la présence de soft robots sur l'expérience du spectateur est un domaine à explorer. Dans la partie suivante, nous approfondirons cette question concernant l'interaction entre l'homme et le robot.

3. La réponse physiologique à l'action des soft robots

36 Penny, Simon « Two Decades of Interactive Art: Digital Technologies and Human Experience » dans *Practicable: From Participation to Interaction in Contemporary Art*. ed. Bianchini, Samuel, et Erik Verhagen, Leonardo.(Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2016): 62-63.

Dans cette partie nous cherchons à montrer en quoi la soft robotique permet d'augmenter l'interaction entre humains et robots. Augmenter, dans le sens où les soft robots « permettent des interactions homme-soft robotique et naturelles ». ¹ Les qualités molles et organiques des matériaux utilisés en soft robotique semblent déclencher une réponse kinesthésique ² chez le spectateur, lui permettant ainsi d'éprouver une plus grande empathie, une meilleure identification envers l'œuvre d'art. ³ Ici il sera donc question des aspects formels des soft robots. L'objectif principal sera de se demander : quelles sont les qualités que l'on associe à « être vivant » ? Cette question interroge la réponse physiologique de nos corps face aux corps des autres, artificiels ou organiques, et nous amène enfin à l'hypothèse : on peut mettre en évidence la respiration comme principe symbolique et opératoire de la question du vivant.

1 Rossiter, Jonathan M, et Helmut Hauser. « Soft Robotics - The Next Industrial Revolution? » IEEE Robotics and Automation Magazine 23, no 3 (2016): 17-20, ma traduction.

2 La conscience d'une personne de la position et du mouvement des parties du corps au moyen des organes sensoriels des muscles et des articulations.

3 Jørgensen.. « From Soft Sculpture », 2020: 223-224.

3.1 Un robot au corps mou augmente-il l'empathie et la proximité émotionnelle avec le spectateur ?

Nous sommes tous familiers avec les matériaux souples et flexibles, qui composent le vivant. La technologie de la soft robotique a été proposée pour un certain nombre d'applications impliquant une interaction homme-robot. L'étude empirique « *Is a soft robot more natural? : Exploring the perception of soft robotics in human-robot interaction* » ⁴ étudie la perception humaine dans l'interaction physique avec des soft robots tout en les comparant aux robots conventionnels faits de matériaux durs. Dans l'étude, Jørgensen, Borup Bojesen et Jochum supposent que les soft robots sont perçus comme plus « naturels » et donc plus attirants que les robots conventionnels, une hypothèse qui n'avait pas encore été testée ou confirmée auparavant. Avant, les études sur les effets de l'incarnation physique de l'interaction homme-robot ont été limitées à la robotique conventionnelle. Cette étude particulière a donc été conçue pour enquêter sur l'affirmation selon laquelle les soft robots sont plus naturels que ceux faits de matériaux durs, et également pour mieux comprendre les perceptions des gens sur les soft robots et les comportements d'interaction spontanée que les soft robots suscitent. Les chercheurs avaient conçu les robots sous la forme d'un tentacule, car cette forme permettrait aux participants d'expérimenter les trois aspects esthétiques : le mouvement, l'apparence et le toucher réciproque. Les chercheurs voulaient également voir s'il y avait des incohérences dans la façon dont les gens définissent « naturel » par rapport aux robots, un terme qu'ils trouvaient problématique dans son utilisation en relation avec les machines. ⁵ Les résultats de cette étude ont montré que, malgré les hypothèses et les affirmations selon lesquelles les soft robots semblent plus naturels que les robots classiques, aucune différence significative sur le fait d'être perçu comme « plus naturel » n'a été relevée. Cependant, ils ont observé un large éventail de réponses lorsqu'ils ont demandé aux participants la définition du mot « naturel », ce qui suggère que le langage entourant les incarnations de robots devrait être davantage pris en compte. ⁶

4 Jørgensen, Jonas, Kirsten Borup Bojesen, et Elizabeth Jochum. « Is a soft robot more natural?: Exploring the perception of soft robotics in human-robot interaction ». International Journal of Social Robotics, 2021: 1

5 Ibid., 2

6 Ibid., 19

D'autres études ont démontré que l'apparence physique a un impact sur les perceptions humaines des capacités d'un robot et influence l'interaction de l'homme avec ce dernier.⁷ Dans l'article *Soft grippers not only grasp fruits: From affective to psychotropic HRI*⁸ les chercheurs ont cherché à démontrer que la soft robotic est un moyen prometteur pour créer des expériences d'interaction homme-robot plus engageantes sur le plan émotionnel. Il y démontrent comment ces robots pourraient avoir un impact sur la relation affective des utilisateurs humains. À l'aide de soft robots dotés des caractéristiques cinétiques de base: expansion, contraction et flexion, les participants ont été invités à toucher et à manipuler librement ces robots avec leurs mains. Dans cette étude empirique, les participants ont décrit le robot avec lequel ils interagissent, avec des phrases telles que : « avoir un battement de cœur », « être suspendu entre la vie et la mort », « être rempli de souffle » et « ressembler à un petit animal de compagnie ».

Les réponses ont indiqué que le mouvement, les formes organiques et la morphologie du caoutchouc de silicone souple donnent une impression visuelle semblable à celle d'un animal. Une alimentation en air pneumatique permet un mouvement pulsatoire. Le son pendant le gonflage et le dégonflage ressemble au son de l'inspiration et de l'expiration. La combinaison du mouvement et du son peut donc contribuer à l'association avec la vivacité. Parfois, la texture rappelle à certains celle de la peau humaine. Les participants semblaient développer de l'empathie et projetaient l'intentionnalité et l'identité sur les robots. Au cours de l'étude, ils ont décrit les robots comme impuissants, souffrants, à la recherche d'affection. En général, les participants ont évalué les soft robots comme ayant sur eux un impact émotionnel, généré surtout par la mouvement et les stimulus tactiles. Les résultats de cette étude suggèrent que la soft robotique conçue avec des mouvements biomorphiques a une forte influence sur l'investissement émotionnel des humains⁹, qui fait aussi écho aux remarques d'Arnold et Scheutz sur la robotique: « avec quelle facilité les gens peuvent attribuer des qualités personnelles chargées d'émotion à un robot, même lorsqu'il est assez clair que le robot ne peut pas échanger des sentiments d'aucune

7 Walters, M. L., K. L. Koay, D. S. Syrdal, K. Dautenhahn, et R. Te Boekhorst. « Preferences and Perceptions of Robot Appearance and Embodiment in Human-Robot Interaction Trials », *Procs of New Frontiers in Human-Robot Interaction*, (2009): 142

8 Zheng, Caroline Yan, et Kevin Walker. « Soft grippers not only grasp fruits: From affective to psychotropic HRI » *Artificial Intelligence and Simulated Behaviour*, Falmouth University, Royaume-Uni (2019): 15-16.

9 Ibid., 17-18.

sorte ».¹⁰ Cependant, cette qualité émotionnelle ne se trouve pas dans la conception délibérée de la machine en copiant les manières humaines ou animales, mais émerge de la qualité biomorphique du robot, de son matériau conforme et de ses mouvements organiques.¹¹ Ainsi, cette façon biomorphique de se déplacer déclenche une réaction dans le corps de l'observateur, et augmente l'empathie et la proximité émotionnelle, c'est pourquoi nous allons approfondir cette partie du système nerveux central, qui joue un rôle crucial dans la notion d'interaction.

10 Arnold, Thomas, et Matthias Scheutz. « The Tactile Ethics of Soft Robotics: Designing Wisely for Human-Robot Interaction. » *Soft robotics*, 2017: 81–87, ma traduction

11 Zheng, et Walker. « Soft grippers not only grasp fruits » 15-18.

3.2 L'activation du système de neurones miroirs face à l'action robotique

Comprendre les intentions et les objectifs derrière les actions d'autres individus que nous-mêmes est crucial pour notre survie et notre fonctionnement social. La découverte de neurones miroirs chez les singes, un neurone qui se décharge lorsqu'un animal agit sur un objet et également lorsqu'il observe un autre animal effectuer une action similaire dirigée vers un but, a fourni des informations sur cette fonction particulière du système nerveux central.

En utilisant différentes méthodes, plusieurs laboratoires ont montré que des systèmes neuronaux similaires existent chez l'homme, mais une question qui n'a pas encore été étudiée est de savoir ce dont le système de neurones miroirs a besoin visuellement pour entrer en action. Nécessite-t-il une adéquation étroite entre les mouvements observés et les mouvements de l'observateur, ou suffit-il simplement que le but de l'action corresponde à la façon dont il est représenté dans le cerveau de l'observateur ? Une façon de le découvrir est de comparer la façon dont le cerveau traite les images de mouvement humain avec les actions correspondantes d'un robot industriel. La façon dont ces robots sont conçus pour être efficaces et simples rend leur mouvement radicalement différent des nôtres.

Une tentative d'éclaircir cette question a été faite dans la recherche de Gazzola, Rizzolatti et Wicker où ils ont cherché à mesurer l'activité cérébrale pendant que les sujets observent des mains robotiques et humaines effectuer des actions similaires. Ceci pour voir s'il y a une différence d'activité dans le système de neurones miroirs. Le but de l'expérience était d'identifier si le système de neurones miroirs humains nécessite une grande ressemblance entre les mouvements des actions observées pour être activés.

Dans l'étude, toutes les actions, robotiques ou humaines, simples ou complexes, ont activé la partie du cerveau associée aux neurones miroirs et ont ainsi montré que le système de neurones miroirs peut répondre à l'action robotique. Ces régions du cerveau réagissent davantage à l'observation d'une action dirigée vers un but, qu'à une action apparemment gratuite et vide de sens. Alors qu'il s'agissait déjà d'un élément connu dans l'étude de l'activation des neurones miroirs, l'étude montre en outre que le but seul, par exemple remplir une tasse de café, est suffisant pour activer les neurones miroirs, et ce, même si ce mouvement semble contre nature et « inhumain ». Cependant, les actions robotiques simples déclencheraient uniquement le système de neurones miroirs de base. Pour compléter cette activité avec des neurones miroirs

supplémentaires, il était nécessaire de fournir une plus grande ressemblance avec la manière de bouger des observateurs. Ce qui est intéressant avec ces résultats, c'est que les fortes activations dans le système de neurones miroirs se trouvent en relation avec les mouvements robotiques, suggérant que même de simples robots industriels impliqués dans des actions humaines significatives peuvent activer nos cerveaux sociaux, tant que leurs mouvements et comportements ne sont pas trop répétitifs.¹²

Ce fait devient intéressant lorsqu'il est mis en relation avec les études mentionnées dans le chapitre précédent. Dans *Soft grippers not only grasp fruits: From affective to psychotropic HRI* les participants ont décrit les sensations tactiles des soft robots comme ressemblant à de la peau, comme étant vivants. Ils percevaient également les robots comme ayant des mouvements imprévisibles décrits comme surprenants. La recherche a montré que cette imprévisibilité du mouvement robotique conduit à une attention accrue dans l'interaction humaine.¹³ Cette attention peut-elle être le résultat d'une activation accrue du système de neurones miroirs ?

Si le fait que les mouvements biomorphiques mentionnés précédemment, nous rendent plus investis émotionnellement, le mouvement de gonflement d'une structure molle peut servir de signe de vitalité et de simulation du signe de vie le plus évident : le souffle. Grâce à leur utilisation de mouvements expansifs et rythmés, les soft robots parviennent à reproduire et à exprimer les qualités physiques de la matière molle d'une manière qui rappelle les processus de la vie organique.

12 Gazzola, V., G. Rizzolatti, B. Wicker, et C. Keysers. « The Anthropomorphic Brain: The Mirror Neuron System Responds to Human and Robotic Actions ». *NeuroImage* 35, no 4, 2007: 1674-1684.

13 Zheng et Walker. « Soft grippers not only grasp fruits », 15-18.

3.3 La respiration en relation avec la réponse émotionnelle

Respirer est un acte inconscient, qui ne fait appel à aucune réflexion, ni aucun effort.. C'est pourtant un comportement bien décrit, essentiel et étonnamment complexe avec des résultats comportementaux et physiologiques facilement mesurables.¹⁴ Un être humain ne respire pas grâce à ses poumons seuls, mais grâce à l'interaction de ces derniers avec l'atmosphère. Respirer revient à s'imprégner du monde qui nous entoure, s'imprégner de petits fragments de vie, et redonner des morceaux de nous-mêmes. La respiration est fondamentalement un processus réciproque.¹⁵

Le rythme régule toutes les phases du cycle respiratoire, synchronisant la respiration avec les mouvements faciaux et oraux, et ont une forte influence sur, et sont influencés par, l'émotion et la cognition.¹⁶ Les émotions, les comportements et les sensations sont entrelacés au point d'être indistinguables. Les émotions sont ressenties dans le corps en raison de l'activation des systèmes cardiovasculaires, musculaires, endocriniens et nerveux. Les émotions sont liées à différentes sensations corporelles qui sont culturellement universelles et peuvent sous-tendre des expériences émotionnelles, ainsi qu'à des changements physiologiques majeurs qui sont corrélés à chaque émotion. Ils sont souvent représentés à l'aide de métaphores physiques, telles que l'amour étant une sensation dans le cœur ou associant la peur à une baisse de la température corporelle, comme dans la métaphore « faire froid dans le dos. ».

Il a été affirmé que la rétroaction corporelle de l'activité physiologique est un facteur d'influence de l'émotion. Produire volontairement des expressions faciales ou ajuster d'autres processus corporels tels que le rythme respiratoire favorise en fait l'émotion correspondante et provoque des changements physiologiques supplémentaires tels que des changements de fréquence cardiaque et de tension musculaire. Comme mentionné dans le chapitre précédent, nous pouvons comprendre les émotions des autres en les recréant dans notre propre cerveau et notre propre corps. Il s'est avéré que la reconnaissance des signaux

émotionnels est traitée sans conscience dans certaines situations et entraîne pourtant les changements physiologiques attendus. En observant les autres, nous effectuons un mimétisme musculaire qui se produit davantage sur des stimuli émotionnels.

Ravinder et Beveridge¹⁷ proposent que lors de la simulation des émotions des autres, le schéma respiratoire pourrait être une cible importante de mimétisme. Nos rythmes corporels sont toujours présents avec nous, provoquant lentement certains états mentaux. Les gens peuvent consciemment changer leur état émotionnel en changeant leur schéma respiratoire puisque l'interaction respiration-émotion est réciproque. Alors que les émotions et les autres systèmes corporels sont fortement liés les uns aux autres, la respiration est unique en ce sens qu'elle peut être intentionnellement ajustée.

Il existe un soutien significatif à l'idée d'associer certaines spécificités physiologiques à différents degrés du spectre émotionnel, le rythme respiratoire étant fréquemment étiqueté comme un indice d'état émotionnel. On peut en déduire que des émotions négatives plus stimulantes, telles que la colère, la peur et l'angoisse, provoquent une respiration plus courte et plus rapide. Lorsque des émotions négatives sont perçues, une régulation de la respiration consciente vers un rythme plus calme et plus profond peut stimuler les émotions positives. Le bonheur et d'autres émotions positives provoquent des altérations respiratoires considérables, telles qu'une variabilité accrue du schéma respiratoire et une diminution du volume courant et du temps d'inspiration. L'influence des émotions positives sur la respiration varie en fonction de la stimulation des émotions, les plus excitantes augmentant la fréquence respiratoire. Le dégoût provoque une suppression de la respiration, ce qui est très probablement un mécanisme normal pour éviter d'inhaler des matières toxiques. Un nombre croissant d'études révèlent qu'en plus de l'état émotionnel influençant le schéma respiratoire, le schéma respiratoire influence et entraîne également l'état émotionnel, même lorsque la personne n'en est pas consciente.

Étant donné que la respiration pourrait être un facteur important du mimétisme dans la simulation des émotions des autres, on peut se demander si elle aurait également un effet sur nous lors de l'interaction avec des êtres artificiels.

14 Del Negro, Christopher A., Gregory D. Funk, et Jack L. Feldman. « Breathing matters » *Nature Reviews Neuroscience* 19, no. 6 (2018): 351-367.

15 Nestor, James. *Breath The New Science of a Lost Art*. New York, Riverhead Books, 2020 : 44-45

16 Del Negro, Funk, et Feldman. « Breathing matters. »: 351-367.

17 Jerath, Ravinder, et Connor Beveridge. « Respiratory Rhythm, Autonomic Modulation, and the Spectrum of Emotions: The Future of Emotion Recognition and Modulation ». *Frontiers in Psychology* 11, (2020): 1-7

Des chercheurs en robotique, neurosciences et sciences cognitives ont jusqu'à présent apporté de nouvelles connaissances à la fois sur le fonctionnement de notre cerveau, notre relation aux robots et ont montré que la perception sociale de ceux-ci est influencée par leur apparence physique et leur comportement. Donc d'un point de vue artistique, on ne peut que supposer que les soft robots en silicone de forme organique, qui gonflent et respirent, amènent le spectateur à ressentir des émotions, alors que cet objet 'respire' et semble être vivant.

Jusqu'à présent, nous nous sommes surtout concentré sur les aspects techniques de la soft robotique, des neurosciences et de la respiration, et on commence maintenant à entrevoir les possibilités esthétiques, les impressions et les sensations que la présence de ces robots suscite chez le spectateur. Avec les applications possibles, la soft robotic devient un domaine de jeu artistique qui ouvre les portes à de nouvelles recherches pour explorer cette intersection entre la technologie émergente et l'art, en continuant à questionner la relation entre le corps et la technologie. Dans la partie suivante, nous présenterons les expérimentations liées aux comportements et propriétés formelles des soft robots, première composante de l'interaction avec le spectateur.

Kurina Sohn,
Extended Nature,
2019, Impression
3D, silicone, air,
seringue, moteur et
Arduino (Source:
https://kurinasohn.com/extended_nature.html)



4. Exploration empirique



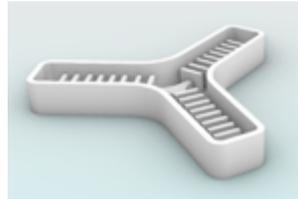
Soft robot créé lors
d'un stage avec Andreas
Hammar à L'École
Royale des Beaux-arts
de Stockholm.

4.1 Processus de création de soft robots

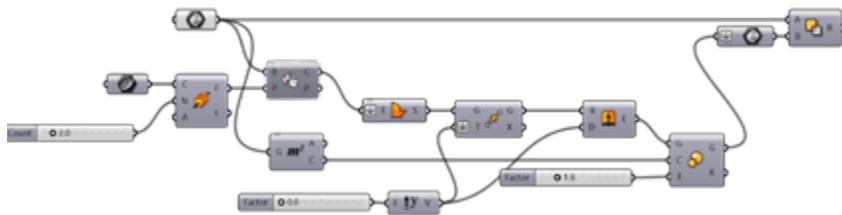
Cette partie présentera le processus de création, la conception des moules, l'utilisation de la micro-électronique et enfin, trois de mes dernières expérimentations en soft robotic.

Conception des moules

Pour concevoir les moules des robots, et de les imprimer en 3D, il faut avoir accès à un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) en l'occurrence ici, Rhino3D. Pour créer la structure interne d'un soft robot, il faut modéliser un négatif pour générer des cavités, reliées entre elles par un conduit, créant un espace vide dans le moule en silicone. Selon l'organisation des zones de vide et de plein, l'air gonfle et déforme le silicone, générant ainsi le mouvement du robot. Grasshopper, un langage de programmation visuel inclus dans Rhino3D, permet de contrôler la taille et le nombre de cavités de manière plus rapide. En effet, ce plug-in offre la possibilité de manipuler un grand nombre de géométries simultanément et d'influencer sur les propriétés géométriques du modèle. Voici un exemple ci-dessous.



Exemple de moule soft robotic réalisé avec Rhino3D.



Le processus de moulage

Ecoflex est une marque de caoutchouc de silicone utilisé pour le moulage fabriqué par Smooth-On Inc. Le silicone est actuellement disponible en quatre duretés différentes. Généralement, en soft robotic, on utilise le plus flexible : Shore 00-30. Ce silicone est contenu dans deux bouteilles de liquide, les parties A et B, qui, une fois mélangées, se solidifient et forment du caoutchouc de silicone. Les matériaux sont non toxiques et inoffensifs une fois durcis.

Après avoir mélangé et versé lentement le silicone dans le moule, puis l'avoir laissé durcir jusqu'à ce qu'il soit solide, le moule peut être retiré. Pour le fermer et pouvoir le remplir d'air, on le colle à une autre feuille de silicone, comme on le voit sur l'image à droite. Selon le mouvement demandé, on peut intégrer du textile ou utiliser un type de silicone plus dur pour faire plier le soft robot dans certaines directions.



Silicone versé dans le moule.



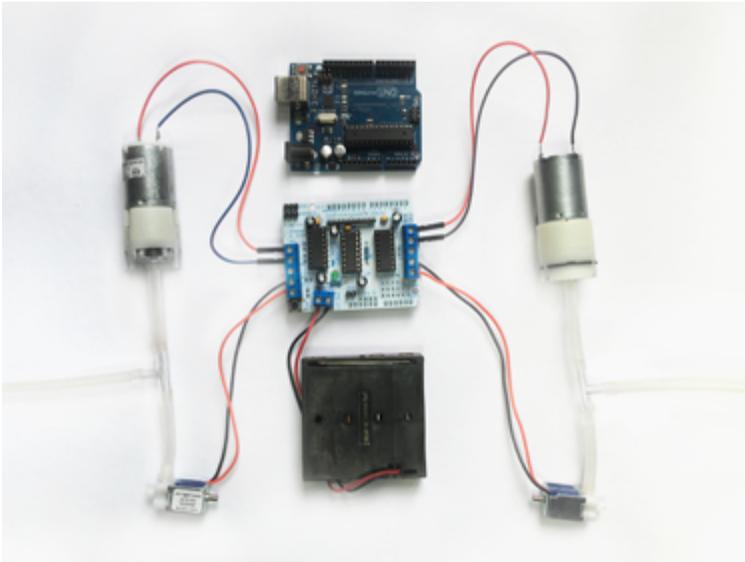
Fixation d'une couche de silicone pour fermer le moule.



Résultat final du moule gonflé.

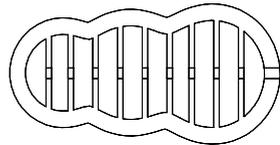
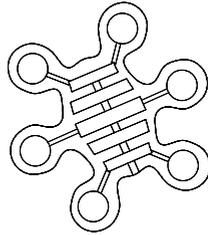
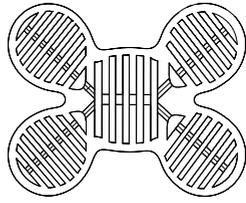
Contrôler le flux d'air

Pour automatiser le gonflage des soft robots, l'air peut être contrôlé avec une configuration simple composée d'un microcontrôleur Arduino équipé d'un Motor Shield et d'électrovannes pneumatiques 6V, de pompes à air 6V et d'un bloc-batterie. Tous les fils sont connectés à l'aide des connecteurs du moteur. Les composants sont assemblés comme indiqué sur la photo. Avec la configuration Arduino, le gonflage et le dégonflage des actionneurs se produisent en allumant et en éteignant les pompes et les vannes.



Soft robot créé lors
d'un stage avec Andreas
Hammar à L'École
Royale des Beaux-arts
de Stockholm.

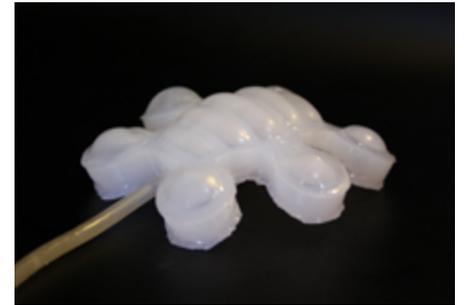
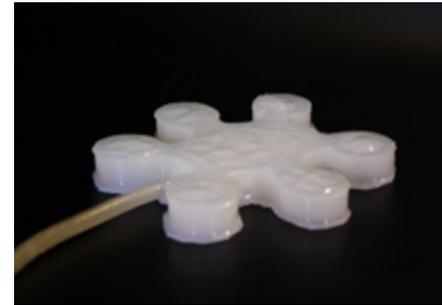
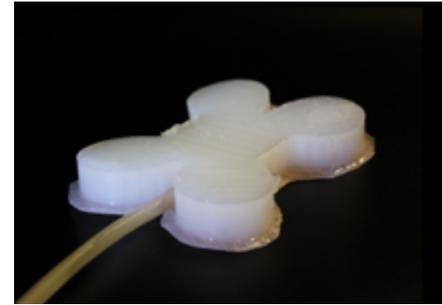




Durcissement du silicone dans les moules imprimés en 3D avec du PLA à l'aide de l'imprimante 3D Prusa i3 MK3S+.

4.2 Eupnea

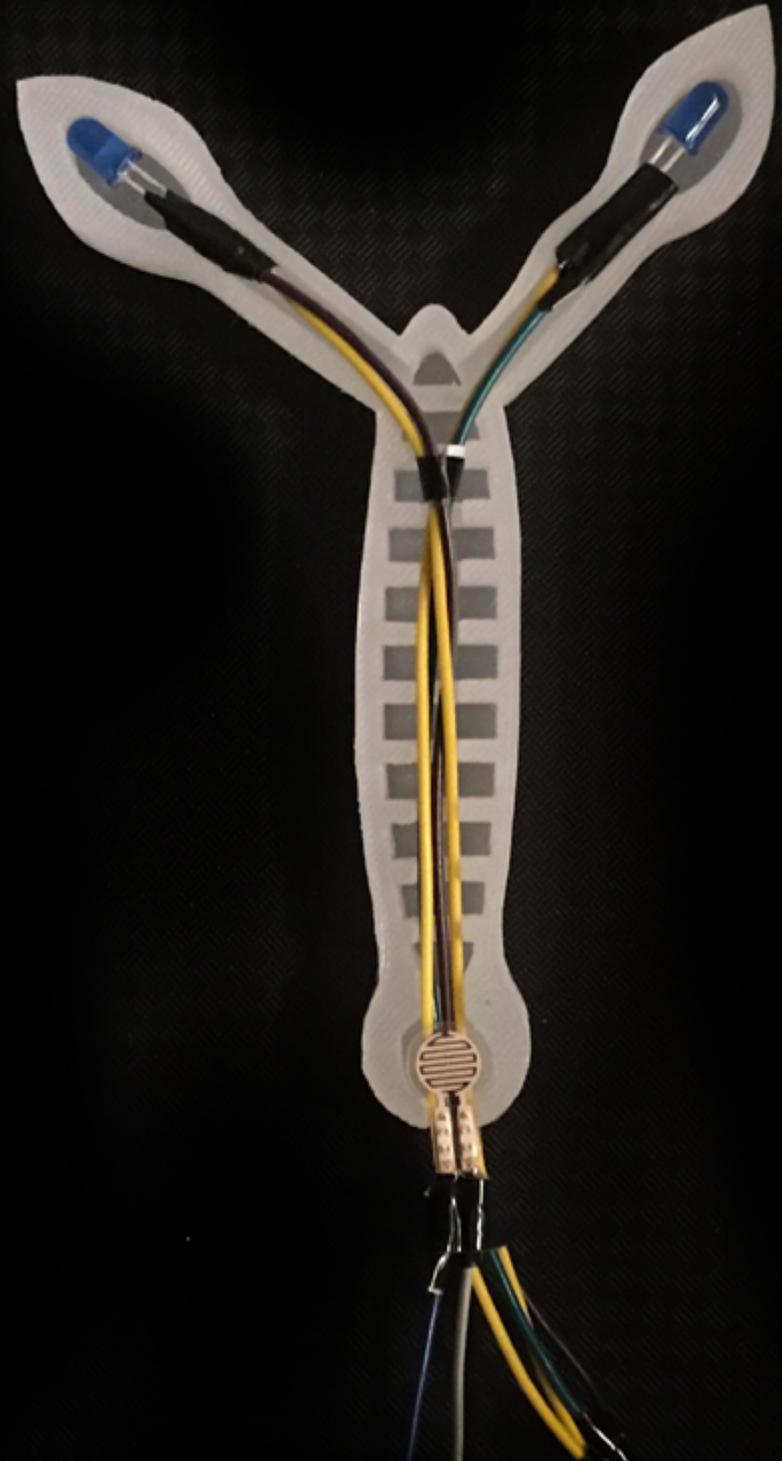
Trois expérimentations ont été réalisées pour observer les effets du flux d'air dans le silicone. Les pompes à air ont été programmées pour s'approcher d'une fréquence respiratoire calme et régulière, autrement dit « Eupnea », tout en prenant parfois une plus grande inspiration, comme pour imiter un soupir.



4.3 Gaussia

En pensant aux espèces bioluminescentes des grands fonds (Gaussia, un genre de copépodes.), produisant le plus souvent de la lumière bleue, ce soft robot est interactif et réagit en allumant sa lumière, plus la pression est appliquée lorsque on le touche.

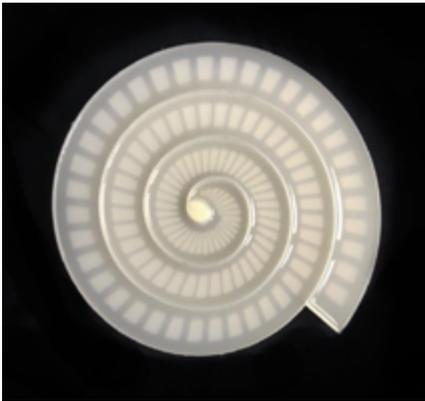
Soft robot avec deux lumières LED et un capteur FSR moulé dans le silicone.





Le soft robot respire
continuellement et
s'illumine lorsqu'une
pression est appliquée
manuellement sur son
extrémité.





4.4 Ammonoidea

Ici, on peut voir un moule inspirée des mollusques marins disparus - l'ammonite. Une fois le silicone détaché de son moule cela a permis quelques expérimentations libres de forme que l'on peut voir dans les images de gauche. Un changement subtil d'expansion peut être observé lorsque de l'air est pompé dans le silicone.

Processus de moulage du demoulage à partir du moule imprimé en 3D laissant entrevoir les poches d'air.



4.5 Retours sur les expérimentations

Au cours de mes expérimentations, j'ai acquis une meilleure connaissance des besoins liés à la fabrication de moules, une étape essentielle en soft robotic.

J'ai également amélioré ma connaissance du silicone et de ses propriétés mécaniques. J'ai par exemple pris conscience de l'importance d'éviter l'apparition de bulles d'air dans le silicone pendant le processus de moulage, car de nombreux robots ont « éclaté » lorsque j'y ai soufflé l'air. À l'avenir, il serait intéressant d'utiliser une chambre à vide pour résoudre ce problème.

L'expérimentation 4.3 *Gaussia*, où un capteur est intégré à l'intérieur du moule en silicone, ouvre de nouvelles voies dans la façon de créer une communication entre le spectateur et le robot et ainsi augmenter l'interaction.

Mon observation de 4.2 *Eupnea* indique que l'hypothèse selon laquelle il est possible de mettre en évidence la respiration comme principe symbolique et opératoire de la question du vivant est plausible : en effet, la respiration peut être clairement liée à l'action de dilatation et de rétrécissement du robot, ce qui semble lui donner une apparence « d'être vivant ». Dans l'autre expérimentation 4.4 *Ammonoidea*, cet effet de « souffle » était moins visible en raison de la taille du robot. Puisque les expérimentations se sont principalement axées sur les propriétés formelles et le comportement des robots, il faudrait maintenant les tester avec des spectateurs, pour confronter l'hypothèse à un autre mode de validation fondé sur l'expérience sensible des robots conçus dans ce mémoire.

5. Conclusion

La récente émergence de la technologie de la soft robotic questionne de nouveau la relation du spectateur aux œuvres interactives. L'étude des systèmes biologiques humains joue un rôle fondamental dans la compréhension des interactions homme-robot. L'exploration de cette relation au sein des formes d'expression artistique peut être importante à la fois pour comprendre, mais aussi pour augmenter l'interaction.

Une étude de l'état de l'art a permis de mettre en évidence la notion d'interaction augmentée. Les recherches en soft robotic et les progrès récents en matière de compréhension des émotions en relation avec le système respiratoire et nerveux, montrent en quoi l'interaction avec des formes organiques et molles peut améliorer l'expérience de connexion. En plus de l'aspect formel, c'est surtout la notion de respiration et de souffle qui renforce encore l'empathie du spectateur. La réalisation de mes expérimentations artistiques liées à des recherches dans le domaine de la soft robotic répond aux hypothèses de la mémoire : on peut mettre en évidence la respiration comme principe symbolique et opératoire de la question du vivant. Notamment dans l'expérience 4.2 *Eupnea*, cela devient clair car le soft robot apparaît et se comporte comme un organisme vivant qui respire.

Dans le temps imparti pour le mémoire, j'ai choisi d'axer mes expérimentations sur les propriétés formelles et le comportement des soft robots, qui constituent en somme la base et la première composante de l'interaction avec le spectateur. Il faudra, dans un second temps examiner comment le soft robot et le spectateur interagissent dans des situations concrètes afin d'apporter des réponses plus approfondies à la problématique.

Par ailleurs, il y a actuellement une pénurie mondiale de silicone en raison de la pandémie. Ce sera une matière à réflexion importante pour de futurs projets car il peut être intéressant d'imaginer des matériaux alternatifs comme le textile, qui ouvrent une autre approche de la soft robotic.

En plus de chercher d'autres matériaux pour les robots, il sera également crucial d'installer les soft robots dans différents environnements de la vie réelle, pour trouver leur place dans un contexte d'exposition.

Plus généralement, l'étude des systèmes du corps humain, en confrontation à la technologie, constitue une base de réflexion riche et intéressante pour des projets à venir, en vue de mon diplôme et de la poursuite de mes études.



Bibliographie

Livres

Gloria Ferreira « The Breath Is Up to You: On Some Works by Helio Oiticica, Lygia Clark, and Lygia Pape » dans *Practicable: From Participation to Interaction in Contemporary Art*. ed. Bianchini, Samuel, et Erik Verhagen, Leonardo. (Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2016): 120.

Margit Rosen « Gordon Pask's Cybernetic Systems: Conversations After the End of the Mechanical Age » dans *Practicable: From Participation to Interaction in Contemporary Art*. ed. Bianchini, Samuel, et Erik Verhagen, Leonardo. (Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2016): 25-26

Matarić, Maja J. *The robotics primer*. Londre, MIT press, 2007. 1-14.

Penny, Simon « Two Decades of Interactive Art: Digital Technologies and Human Experience » dans *Practicable: From Participation to Interaction in Contemporary Art*. ed. Bianchini, Samuel, et Erik Verhagen, Leonardo. (Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2016): 62-63

Pickering, Andrew. *The Cybernetic Brain : Sketches of Another Future*. (Chicago: University of Chicago Press, 2011): 43-44.

Skrebowski, Luke « The Artist as Homo Arbitrator Formae: Art and Interaction in Jack Burnham's Systems Essays » dans *Practicable: From Participation to Interaction in Contemporary Art*. ed. Bianchini, Samuel, et Erik Verhagen, Leonardo. (Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2016): 39-41.

Wiener, Norbert. *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine* (The M.I.T. Press: Cambridge, Massachusetts, 2nd edition, 1961): 11.

Catalogues d'exposition

Burnham, Jack. « Notes on art and information processing » *SOFTWARE Information Technology : its new meaning for art*. (exh. cat. New York: The Jewish Museum, 1970) 10-14.

K.G Pontus Hultén, « Foreword and Acknowledgments, » in *The Machine as Seen at the End of Mechanical Age* (exh. cat. New York: Museum of Modern Art, 1968), 3.

Articles de revue

Del Negro, Christopher A., Gregory D. Funk, and Jack L. Feldman. « Breathing matters. » *Nature Reviews Neuroscience* 19, no. 6 (2018): 351-367.

Gazzola, V., G. Rizzolatti, B. Wicker, et C. Keysers. « The Anthropomorphic Brain: The Mirror Neuron System Responds to Human and Robotic Actions ». *NeuroImage* 35, no 4 (2007): 1674-1684.

Jerath, Ravinder, et Connor Beveridge. « Respiratory Rhythm, Autonomic Modulation, and the Spectrum of Emotions: The Future of Emotion Recognition and Modulation ». *Frontiers in Psychology* 11, (2020): 1-7.

Jørgensen, Jonas, Kirsten Borup Bojesen, et Elizabeth Jochum. « Is a soft robot more natural?: Exploring the perception of soft robotics in human-robot interaction ». *International Journal of Social Robotics*, (2021): 1.

Klein, Julian. «What is artistic research?» *Journal for Artistic Research*, (2010), 4-5.

Morris, Robert. « Anti-Form. » *In Continuous Project Altered Daily: The Writings of Robert Morris*, edited by Robert Morris, (Cambridge MA and New York: MIT Press, 1966) 41-47.

Pfeifer, Rolf, et Josh Bongard. « How the Body Shapes the Way We Think: A New View of Intelligence. » (MIT Press, 2006): 1.

Rossiter, Jonathan M, et Helmut Hauser. « Soft Robotics - The Next Industrial Revolution? » *IEEE Robotics and Automation Magazine* 23, no 3 (2016): 17-20.

Rus, Daniela, and Michael T. Tolley. « Design, fabrication and control of soft robots. » *Nature* 521, no. 7553, (2015): 467-475.

Walters, M. L., K. L. Koay, D. S. Syrdal, K. Dautenhahn, et R. Te Boekhorst. « Preferences and Perceptions of Robot Appearance and Embodiment in Human-Robot Interaction Trials », *Procs of New Frontiers in Human-Robot Interaction*, (2009): 142.

Thèses

Jørgensen, Jonas. « From Soft Sculpture to Soft Robotics. Retracing Entropic Aesthetics of the Life-like », dans *Constructing Soft Robot Aesthetics. Art, Sensation, and Materiality in Practice*. (IT University of Copenhagen, 2019): 223-242.

Jørgensen, Jonas. « Prolegomena for a Transdisciplinary Investigation Into the Materialities of Soft Systems », dans *Constructing Soft Robot Aesthetics. Art, Sensation, and Materiality in Practice*. (IT University of Copenhagen, 2019): 58-59.

Sites web

Forbes. « You've Heard Of Robots; What Are Cobots », consulté le 1 décembre 2021, <https://www.forbes.com/sites/cognitiveworld/2019/12/15/youve-heard-of-robots-what-are-cobots/?sh=4089e4044862>.

Moderna Museet i Stockholm. « Eccentric Abstraction », consulté le 25 novembre 2021, <https://www.modernamuseet.se/stockholm/en/2019/11/14/eccentric-abstraction/>.

Online Robotics. « Comparing the Top Industrial Robotics Brands », consulté le 6 décembre 2021, <https://www.onlinerobotics.com/news-blog/comparing-top-industrial-robotics-brands>.

RobotWorx. « Industrial Robot History », consulté le 28 novembre 2021, <https://www.robots.com/articles/industrial-robot-history>.

Studio ThinkingHand. « Intertidal Synthesis ». consulté le 3 décembre 2021, <https://studiothinkinghand.com/works/intertidal-synthesis.html>.

Youn Hye-jun « Auxetic », consulté le 3 décembre 2021, <https://hyejunyoun.com/Auxetic>.

Actes de conférence

Zheng, Caroline Yan, et Kevin Walker. « Soft grippers not only grasp fruits: From affective to psychotropic HRI » *Artificial Intelligence and Simulated Behaviour. Movement that shapes behaviour*, Falmouth University, Royaume-Uni (2019): 15-16.

Conférences

Schmidt, Timo Torsten. « Mental Representations of Tactile Information », série de conférences en ligne de *Talking Matters* du groupe *Matters of Activity: Image Space Material*: 7 décembre 2021.

Brock, Oliver. « Intelligence Without a Brain – Soft Robotics », série de conférences en ligne de *Talking Matters* du groupe *Matters of Activity: Image Space Material*: 23 novembre 2021.

