

Art.Machines.Intelligence*

Frédéric Fol Leymarie

22 Décembre 2020, Londres



Le sujet principal de cet essai est de faire le sommaire de mes réflexions sur les potentiels qui se trouvent à l'intersection de l'art, des machines (y compris l'IA) et de l'intelligence. En plus de donner un aperçu de projets d'artistes utilisant des machines dans le cadre de leur travail artistique, je vais discuter des raisons pour lesquelles il y a un grand potentiel dans la fusion de ces disciplines.

Pour ce faire, je vais d'abord caractériser chacun des trois thèmes. Mes descriptions de ceux-ci seront un tantinet biaisées, loin d'être complètes, mais suffisantes je l'espère afin de préciser comment leur fusion puisse

*Image: Graffiti du "tag" A.M.I. se situant à l'intersection des styles "arrow" et "machine" (selon la nomenclature de l'artiste et théoricien Dado [25]); produit par Daniel Berio et le système AutoGraff [10].

opérer. Je donnerai par la suite quelques exemples récents de projets d'artistes, avec lesquels j'ai collaboré, où ces trois disciplines sont réunies, dans le cadre d'un petit tour d'horizon.

Main commençons tout d'abord par un des sujets se trouvant au coeur de notre discussion: l'Intelligence Artificielle (I.A.); le dictionnaire de Cambridge lui donne comme définition:

«L'étude de la façon de produire des machines qui possèdent certaines des capacités propres à l'humain, telles que la compréhension du langage, la reconnaissance des images, la résolution de problèmes et apprendre » [par exemple à jouer d'un instrument de musique].

Par ailleurs, je ne fais pas de séparation *a priori* entre «esprit» et «corps» comme cela deviendra plus clair par la suite.¹ Comme je veux aborder le sujet même de ce qu'est l'intelligence, je veux me concentrer sur ces qualités ou capacités que l'humain possède, mais, que à notre connaissance, aucune autre espèce ne partage, ou du moins pas à une telle hauteur; il s'agit notamment du langage, des arts, de l'écriture, de la création et de l'utilisation d'outils, des sciences et de l'invention des mathématiques, et, sur le long terme, de l'accumulation de connaissances et de l'augmentation continue de notre horizon cognitif [38]. Dans mon discours, je me concentrerai sur les arts, mais je pourrais aussi considérer ces autres capacités. J'aurai quelque chose à dire à ce sujet, car toutes ces capacités ne sont pas entièrement distinctes les unes des autres.

Les arts doivent être considérés au sens large: comprenant (au moins) les arts dits visuels (dessin, calligraphie, peinture, sculpture, animation, cinéma et leurs extensions comme les jeux informatiques), la musique, le chant et la sonification, l'architecture (aussi paysagère), la littérature sous toutes ses formes, et les divers métiers dits d'artisanat tels la potterie, la menuiserie, l'horlogerie. Dans les exemples que je vais fournir, je vais me concentrer sur les arts dits "visuels". Il s'agit en grande partie d'un biais personnel provenant de mes expériences et de mes propres intérêts de recherche axés dans ce domaine (en graphisme, vision, perception, créativité).

En outre, je me concentrerai sur la production d'art ou d'artefacts, ainsi que sur leur évaluation, leur appréciation et en tant que porteurs

¹Suivant en cela, entre autres, les enseignements du neurologue Antonio Damasio [24].

d'informations. Je n'insisterai pas (trop) sur les aspects plus culturels (historiques, variations entre les cultures et les époques), ni sur les impacts économiques ou sociaux. Je laisse cela pour une discussion séparée (et plus approfondie).

1 Art

Art [visuel] (d'après l'Encyclopedia Britannica):

“Un objet visuel ou une expérience créée consciemment par l'expression d'une compétence ou d'une imagination.” qui existe “dans un continuum qui va de fins purement esthétiques à une extrémité à des fins purement utilitaires à l'autre”.

Voici ci-dessous les sujets associés aux arts que je propose pertinents à notre discussion.

Production: Actions prises par l'artiste qui impliquent l'utilisation du corps (de manière experte), mais aussi souvent l'utilisation de certaines extensions au corps: c'est-à-dire à l'aide d'outils (tels que brosses, pinceaux, crayons); les techniques utilisées (souvent développées au cours d'une longue histoire, qui évoluent, s'oublient, resurgissent); l'observation et la rétroaction qui interviennent dans le processus, comme l'évaluation visuelle de l'artefact actuel, l'influence des marques peintes sur les décisions prises, par exemple dans l'exécution d'un dessin ou d'une peinture [4].

Réflexion: Perception nécessaire à la création et à l'observation d'artefacts; appréciation impliquant des décisions et des comparaisons en cours; planification des actions, mouvements, utilisation des outils, utilisation des matériaux; le bagage historique influençant le style propre d'un artiste et ses explorations d'idées nouvelles, largement acquises pendant la scolarité, l'éducation et/ou comme élève apprenti dans un studio d'artiste; mémoire de ses propres expériences créatives antérieures et de sa production passée; chaudron culturel dans lequel on vit qui influence sa créativité; sens et discours donnés, associés aux artefacts produits; interprétations et appréciations données par les observateurs.

Communication: Représentations des connaissances communicables de manière graphique et visuelle; archivage des expériences, des idées, des souvenirs, des messages; l'histoire et les transformations successives menant à une œuvre d'art d'excellence (comme par exemple la Joconde de Leonard de Vinci).

Sentiments: Provoquer des émotions, à travers des souvenirs (visuels); générer ou représenter du plaisir; représenter les relations entre les êtres, entre les humains et la nature, entre les humains et leurs habitats; évoquer le caractère d'une personne (par exemple, dans un portrait ou une sculpture, comme le Balzac de Rodin).

Analyse: Découvrir différentes manières de projeter une idée, un paysage, un portrait, une interprétation; rendre explicite et compréhensible visuellement un phénomène ou une situation complexe (e.g. techniques de rendus dans les dessins anatomiques de Léonard, de Michelange ou de Vesalius); interpréter visuellement des idées sur le monde, sur les théories (par exemple en physique, médecine, chimie); externaliser notre raisonnement (par exemple dans des croquis, des schémas, des dessins préparatoires).

Créativité: Repousser les limites de notre perception; illustrer et documenter notre imagination, nos rêves, nos peurs, nos obsessions, nos passions; inventer de nouveaux symboles visuels; origines des langues et de l'écriture.²

J'ai l'intention d'essayer de convaincre le lecteur que l'Art nous donne une fenêtre de choix sur l'Intelligence [humaine]. De plus, l'Art co-évolue (dans sa pratique, ses supports et ses résultats) avec les avancées réalisées sur nos outils les plus sophistiqués: les Machines.

²On peut considérer que l'art a fourni le berceau de l'écriture. Les premières traces d'art visuel remontent à au moins 30,000 ans, par exemple, dans les peintures rupestres à Altamira en Espagne, à Chauvet en France, à Sulawesi en Indonésie. La sculpture de motifs et de formes dans la roche remonte à au moins 300,000 ans [7]. Les origines (beaucoup plus récentes) de l'écriture, il y a environ 6,000 ans, se retrouvent dans des symboliques visuelles, sous forme de logogrammes, apparaissent comme des extensions directes des formes d'art primitif les ayant précédées.

2 Machines (et ordinateurs)

Les machines sont aujourd'hui (et depuis au moins les débuts de la révolution industrielle) nos outils les plus avancés. Elles sont généralement conçues comme des extensions de notre corps ou de nos capacités. Leurs principales contraintes, et ce qui les distinguent d'autres formes d'outils, sont liées à l'apport d'énergie requis, à la qualité du contrôle disponible, et à la capacité de transformation (de la matière, de l'environnement). L'autonomie et la sophistication du contrôle de ces machines sont devenues des caractéristiques plus importantes avec l'invention et le développement continu de l'électronique et des ordinateurs.

Je me concentre ici sur les machines qui intègrent un côté numérique leur permettant de "toucher" le monde (avec capteurs) et de "calculer" (raisonner à ce sujet à partir des données captées). Les machines numériques doivent être considérées comme distinctes des outils plus primitifs sans capacités programmables. Les machines numériques sont programmées pour:

- agir dans le monde.
- réagir aux changements de conditions et aux événements perceptibles.
- informer, traiter des données sur le monde, généralement dans un domaine d'action limité ou étroit.

L'évolution des outils menant aux machines programmables a suivi l'évolution de l'homo sapiens. Les traces originales de pratiques artistiques remontent à des centaines de milliers d'années, avec les premières gravures sur pierre [7]. Tout au long de l'histoire, nous avons développé notre capacité d'impacts et de transformation de la matière par l'utilisation et l'évolution de nos outils, et ce en partie au travers de nos activités artistiques. Cette évolution suit "main dans la main" celle de nos capacités intellectuelles.

3 Intelligence

Je fonde ma définition de l'intelligence [humaine] sur les capacités permettant à un être: (i) d'agir dans le monde, (ii) de réagir au monde et (iii)

d'approfondir notre compréhension du monde, ce de manière autonome. C'est une base assez générale qui peut être appliquée à tous les êtres vivants. En tant que tel, je considère que différents niveaux d'intelligence sont disponibles pour toutes les espèces. Les humains ont un ensemble de capacités plus diversifié que les autres espèces, et sont en particulier moteurs dans l'évolution de leurs propres capacités, connaissances acquises, et représentations, voire compréhension, du monde.

Ci-suit quelques-unes des dimensions importantes selon lesquelles l'intelligence [humaine] s'exprime.

Perception: La perception du monde par l'entremise de nos sens est prise en charge par des "interfaces utilisateur" intégrées à nos systèmes nerveux et tactiles [30, 34]. Nous ne pouvons comprendre le monde à l'intérieur et à l'extérieur de notre corps que via de telles interfaces. Par exemple, nous percevons les couleurs de manière particulière, qui sont des fabrications par notre système nerveux aidant à comprendre ce que nous ressentons visuellement. Une autre espèce exposée au même signal électromagnétique aura une interprétation sous une palette des couleurs différente (qui correspond à sa souche évolutive). Les couleurs chez l'humain sont également apprises (liées à la culture) et peuvent évoluer, être affinées avec le langage (en associant des significations fines aux percepts).³ Nous percevons les objets comme des formes, auxquelles peuvent être associées des fonctions particulières (e.g. différents objets faisant office de "chaise"). De telles "formes" font à nouveau partie de notre interface avec le monde [39], et sont à distinguer de la physicalité de l'objet lui-même (c'est-à-dire de l'assemblage de molécules constitutives de l'objet). Il s'agit d'un point de vue similaire à "l'icône sur écran" représentant un dossier et lié à un espace physique dans la mémoire de l'ordinateur: il n'y a pas de véritable dossier dans l'ordinateur, mais la forme du dossier nous évoque sa finalité et fonction potentielle [30, 34].

Communication: Nous utilisons nos systèmes nerveux et tactiles en-

³Par exemple, la couleur bleue est inexistante en grec ancien; Homère décrit la mer comme "couleur du vin". Aujourd'hui, certaines tribus humaines manquent encore d'une notion du bleu; par exemple, les Himbas ne font aucune réelle distinction entre les nuances de vert et de bleu. Cependant, ils ont beaucoup plus de mots, que dans nos cultures citadines, pour des variations dans les "verts" [46].

trelacés (et le reste du corps) pour recevoir et émettre des informations. Nous utilisons le langage, les gestes, les expressions faciales, le contact visuel, la pose corporelle, l'odeur, et plus encore, pour exprimer des idées, des émotions, des messages subtils.

Actions: Nous nous déplaçons à travers le monde avec notre corps articulé, saisissant et manipulant des objets, en mode exploratoire.

Analyse: Raisonner, observer, conclure, comparer et faire des choix.

Apprentissage: Nous apprenons de part nos expériences, par le jeu et les répétitions. Nous apprenons des autres, par la scolarité, des livres et d'autres mécanismes d'archivage. Nous perfectionnons nos compétences en nous exposant à des maîtres. Nous apprenons à travers des représentations que nous exprimons au travers de croquis et dessins; l'évolution de la représentation des formes et autres concepts au travers du dessin chez les enfants est très caractéristique de ce type d'apprentissage [27].

Mémoire: Les expériences mémorisées orientent nos actions et nos décisions futures. Nous organisons (probablement) et prolongeons nos souvenirs pendant nos rêves.

Créativité: Nous innovons. Nous associons des sujets et des concepts de manière nouvelle. Nous réinterprétons les anciennes façons de représenter notre monde.

Outils: Nous concevons des outils. Les outils deviennent des extensions de notre corps, sous le contrôle de notre intellect. Les outils nous permettent de mieux utiliser les sources d'énergie que l'on trouve dans la nature. Les outils évoluent avec nous, sous notre contrôle. Certains de ces outils peuvent étendre nos domaines sensoriels, comme lorsque nous visualisons le monde des molécules ainsi que le monde des galaxies.

3.1 Externaliser (une partie de) l'intelligence

Je fais l'hypothèse que l'évolution de l'intelligence, que l'on peut considérer comme étant à son stade le plus avancé chez les humains modernes, est

étroitement liée à la co-évolution des outils. Les outils nous ont poussés à explorer notre monde de manière de plus en plus raffinée et puissante. Le résultat le plus récent de cette co-évolution peut être vu dans nos machines, en particulier celles qui peuvent être programmées et dotées d'un certain niveau d'autonomie.

Fait historique intéressant, les premières machines programmables ont émergé du monde des arts et de l'artisanat. En 1768, l'horloger suisse Pierre Jaquet-Droz, élève de Daniel Bernoulli, conçoit et construit un automate sous forme humaine, appelé "l'écrivain". Composé d'environ 6000 pièces, il contient une roue programmable dans laquelle différentes formes peuvent être interchangeables. Chacune de ces formes agit comme une mémoire (ancêtre du disque avec instructions gravées) qui peut être déchiffrée pour que l'automate exécute l'écriture d'un message particulier (ainsi que diverses animations de son corps, de ses yeux, etc.); jusqu'à 40 caractères peuvent ainsi être écrits à la fois par l'automate. L'écrivain, ainsi que deux autres automates sophistiqués (mais pas aussi facilement reprogrammables), le dessinateur et la musicienne, peuvent encore être observés fonctionnant au Musée d'art et d'histoire de Neuchâtel, en Suisse. Le prochain progrès majeur dans les machines programmables est venu au début du 19ème siècle (vers 1805) avec l'invention du métier à tisser dit de Jacquard. Conçu pour un tissage textile efficace, ses actions et ses motifs produits sont programmables par l'utilisation de cartes perforées pliables (un moyen d'imprimer du code qui sera utilisé dans les ordinateurs électroniques numériques contemporains jusqu'aux années 1980). Les étapes suivantes au 19ème siècle ont été les machines de Babbage, en particulier le moteur analytique programmable, et les concepts de programmes algorithmiques et de code par Ada Lovelace. Par la suite viendront au 20ème siècle Turing, von Neumann et l'éclosion de l'ordinateur et de ses suites [29].

4 L'impact de l'I.A.

Pour certains, l'étude, la conception et le progrès de nos machines les plus avancées peuvent être considérés comme une entreprise distincte de l'étude de la nature humaine. Cependant, les origines du domaine de l'intelligence artificielle (I.A.) donnent un son de cloche différent, ayant émergé de l'idée suivante [42]:

“L’étude doit procéder sur la base de la conjecture que chaque aspect de l’apprentissage ou toute autre caractéristique de l’intelligence [humaine] peut en principe être si précisément décrit qu’une machine peut être amenée à le simuler.”

La machine moderne, à travers ce manifeste, peut être vu comme une extension naturelle de notre développement intellectuel en tant qu’espèce capable de concevoir ses propres outils et moyens de communication ainsi que des représentations du monde.

Dans ce contexte, il est proposé que les sujets qui font partie des arts (comme la créativité, l’expertise ou la maîtrise) et des machines (telles que leur conception, l’ingénierie, le contrôle et leurs applications) puissent se rassembler pour nous aider à étudier et mieux comprendre de quoi l’intelligence humaine elle-même est formée. Ensemble, ils peuvent également nous aider à augmenter nos capacités intellectuelles. Ils peuvent également plus simplement dupliquer ou simuler certaines de ces capacités, tel qu’envisagé de par le manifeste de 1955 de McCarthy et al, ou encore par Turing dès 1950 [53].

Dans ce qui suit, je décrirai quatre projets phares et leur artiste associé comme exemples de la manière dont le trio “art, machine, intelligence” peut être fusionné, et ce de diverses façons.

5 Art.Machine.Intelligence dans la pratique

5.1 Art Informatique Evolutif: William Latham

Créativité: comment la simuler et la stimuler davantage.

Dans les années 1980, William Latham, alors étudiant en arts au “Royal College of Arts” de Londres, descendait souvent le long de la rue “Exhibition Road” pour se rendre en quelques minutes au Musée d’Histoire Naturelle, où il pouvait pendant des heures contempler la créativité et la grande diversité dont la nature est féconde. Ainsi inspiré, il a par la suite inventé une méthode créative basée sur son interprétation de l’évolution biologique et son rôle dans la création de la diversité des formes. L’algorithme, dans un cas appelé “FormSynth”, était basé sur des règles simples et sur un mode itératif [48]. Latham dessinait divers arbres évolutifs, Figure 1, sur de grands et très longs rouleaux de papier (par exemple 2m sur 8m).

Finalement, il réalisa les limites pratiques de cette approche et vers la fin des années 1980 il rejoignit le centre de recherche britannique d'IBM près de Winchester. Une nouvelle activité fut alors créée au croisement de l'art, de la science et de la discipline de l'infographie en pleine évolution. Là, il travailla avec différents chercheurs et notamment initia un partenariat à long terme (et toujours en cours) avec l'inventeur et informaticien Stephen Todd (auteur de plus de 80 brevets). Ensemble, ils ont contribué à la création d'une discipline que nous pouvons maintenant appeler l'art informatique évolutif [3].

FormSynth fut transformé en un programme informatique qui résulta en un système beaucoup plus sophistiqué et plus étroitement lié à l'évolution biologique, que Latham et Todd ont appelé "Mutator" [48, 35]. Dans ce système, des mutations et des mariages ont lieu, produisant une descendance multiple, ce de manière pseudo-naturelle (par exemple avec deux parents ou plus fournissant leurs "gènes" sous forme de séquences de code avec des instructions sur l'assemblage de formes constitutives et leurs caractéristiques associées). Toute cette simulation de processus évolutifs accélérés reste sous la direction de l'œil humain: l'artiste y joue le rôle de généticien-jardinier sélectionnant les descendants les plus prometteurs en fonction de leur valeur esthétique perçue, Figure 2.

À partir du milieu des années 1990, Latham rejoint le domaine en plein essor des jeux vidéo et crée son propre studio. J'ai rencontré Latham vers 2005 et je l'ai convaincu de se joindre à nous à l'Université de Londres pour revenir à ses premiers travaux de pionnier. Plus tard, Stephen Todd a de nouveau rejoint Latham et ensemble ils sont revenus à leur travail original avec un œil neuf. Ils ont retravaillé le système évolutif original en "MutatorVR" où l'artiste ou l'utilisateur/observateur peut s'immerger dans les processus évolutifs numérisés et bénéficier des progrès réalisés en informatique au cours des deux dernières décennies [36] (Figure 3).

L'art (et le design) lui-même a une histoire qui se lit comme un conte évolutif. Les idées et les techniques du passé informent la prochaine génération de créateurs. Les compétences et l'esthétique du passé font partie de leur ADN artistique, que certains modifient, parfois radicalement, en participant au processus d'évolution au fil des siècles. Ce que des artistes contemporains comme Latham en sont venus à réaliser, c'est que les simulations d'un processus créatif évoluant relativement lentement peuvent éventuellement être grandement accélérées grâce au potentiel de l'informatique. L'utilisation de machines numériques, équipées

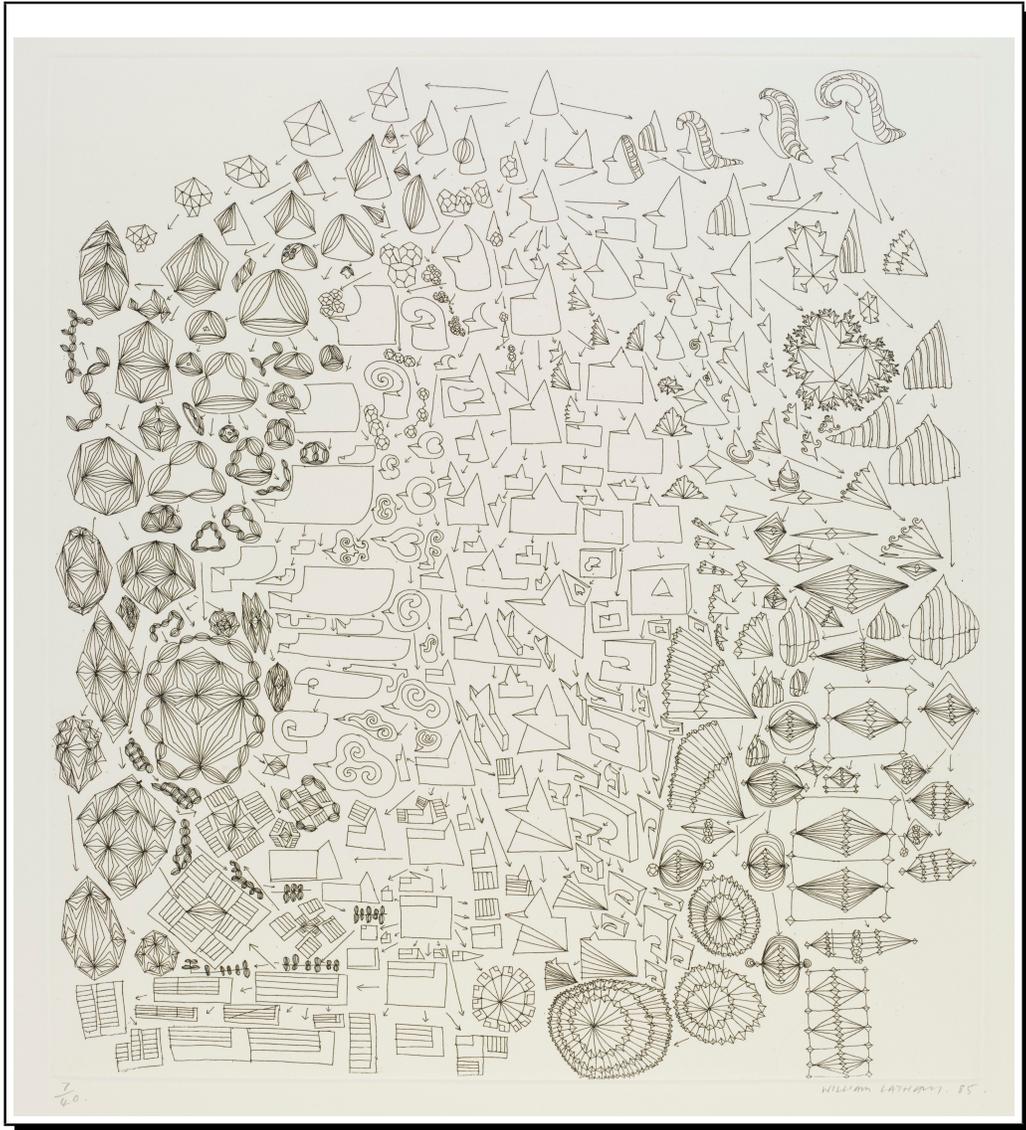


Figure 1: FormSynth: exemple d'exploration artistique de la diversité des formes par arbres évolutifs, par William Latham, circa 1985 (avec permission de l'auteur).

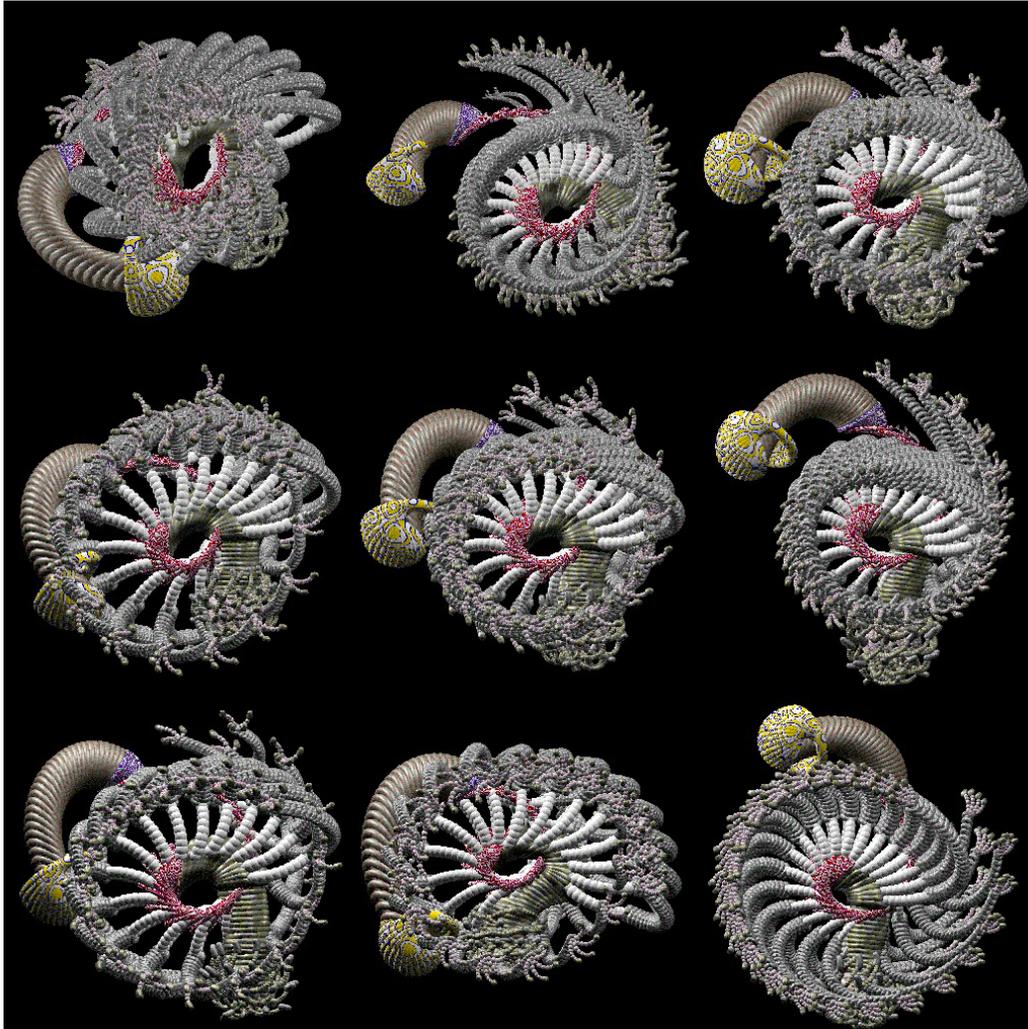


Figure 2: Mutator: programme informatique combinant FormSynth avec une simulation d'évolution ultra-rapide; neuf formes complexes ont évolué et seul un sous-ensemble est choisi pour la prochaine itération-génération (par mariage et/ou mutation); travail de Latham en collaboration avec Todd (avec permission des auteurs) [48].



Figure 3: Mutator VR: 1ère rangée: exemples d'installations immersives. 2e rangée: vue prise de l'intérieur de l'un des univers imaginaires (dynamique, évolutif et itératif) de William Latham.

de capteurs (tels caméras, microphones) et de dispositifs en sortie (tels écrans, haut-parleurs, casques de réalité virtuelle (RV)) ou d'autres dispositifs d'interface utilisateur (tels les contrôleurs manuels de RV qui peuvent fournir un feedback haptique au travers de vibrations) offrent également de nouvelles possibilités pour révéler la pensée intime (ou l'imagination) de l'artiste: comment la pratique traditionnelle (croquis, itérations, designs raffinés, pièce finale) peut être modélisée et transformée en une plateforme informatisée interactive qui puisse plonger plus intensément le sujet dans le monde créatif d'un artiste. Une telle machine devient une nouvelle interface avec laquelle l'esprit humain peut interagir.

5.2 Portraits et Art Robotique: Patrick Tresset

Incarnation: l'importance du corps

J'ai rencontré Patrick Tresset, alors artiste de la scène des arts visuels de Londres, lorsque je suis arrivé dans la capitale d'outre-Manche fin 2004 et que j'ai initié ce qui était alors le premier Masters en Science des Arts et de l'Informatique au Royaume-Uni.⁴ Tresset avait également une formation en programmation qu'il avait acquise au cours de ses études en France, s'était installé à Londres une quinzaine d'années auparavant pour s'établir en tant qu'artiste visuel et avait exploré de nombreux genres différents, allant du portrait à la peinture abstraite. Tresset faisait partie de la première génération d'étudiants diplômés et de chercheurs avec lesquels j'ai eu le plaisir de collaborer en rejoignant Goldsmiths (college satellite de l'Université de Londres).

Tresset avait rejoint le Masters de Goldsmiths pour explorer comment mieux combiner ses expériences précédentes en programmation avec sa passion pour les arts visuels et la créativité. L'un des projets qu'il a poursuivis pendant cette période se démarquait des autres: essayer de modéliser sa propre pratique artistique, ses compétences et son style de réalisation de croquis et de portraits rapides, ayant une qualité visuelle certaine, et fort éloignée des œuvres d'art informatisées de l'époque. En essayant de modéliser les différentes étapes principales suivies par Tresset lors de la préparation puis l'exécution de ses croquis, nous avons créé un premier système logiciel simple nommé "Alkon" [49, 50].⁵ Tresset a

⁴En anglais: "MSc Arts Computing", renommé plus tard "MA Computational Arts".

⁵Alkon: diversement appelé Ikonographe Artistique, Automatisé, Autonome ou Artifi-

alors exploré les possibilités offertes par le système et ses paramètres, en dérivant divers autres styles, ressemblant plus ou moins à ses propres dessins à la main, Figure 4.

Mais nous étions tous deux insatisfaits à l'issue de ce premier projet (que nous appelons maintenant Alkon-1). Nous avons un modèle de travail reposant sur des caractéristiques d'une image ou d'une photographie sur lesquelles il fallait se concentrer lors d'un rendu rapide de dessin au trait, mais nous ne pouvions pas recréer les détails subtils des traces laissées par la main de l'artiste. En particulier, les hésitations, le caractère unique de chaque geste de la main et la manipulation d'un outil de dessin ou d'un pinceau se sont avérés difficiles à modéliser. Après une pause de quelques années, et avec l'aide financière du "Leverhulme Trust",⁶ Tresset a pu me rejoindre à nouveau et nous nous sommes alors engagés dans un second projet de recherche à plus long terme, appelé Alkon-2.

C'était en 2009 et une évolution majeure avait eu lieu dans le monde de la robotique. Il était désormais possible de commander et de fabriquer ses propres bras robotisés à des prix très raisonnables (quelques centaines d'euros) pour obtenir de simples manipulateurs contrôlables. De plus, la communauté scientifique internationale avait mis au point des plateformes logicielles pour la programmation de la robotique qui simplifiaient grandement les tâches d'envoi de commandes de contrôle aux robots.⁷

Ces deux événements ont permis à des non spécialistes (en robotique) aux moyens financiers modestes de commencer à construire et à tester des prototypes non triviaux. Tresset a commandé les premiers servomoteurs et diverses pièces, conçu et construit un bras (avec épaule, coude, poignet articulés) et une simple pince pour la "main" qui pouvait tenir un stylo (généralement un "bic"). Il a également conçu une plateforme robotique sur laquelle était montée une petite caméra qui pouvait tourner avec 2 degrés de liberté et jouait le rôle d'un "œil". Tresset a finalement surnommé l'ensemble du système "Paul le robot". Le bras, l'œil et un ordinateur portable étaient solidement fixés à une simple table; l'ordinateur portable ou "cerveau" demeurant caché sous la table, Figure 5. Paul a fait

ciel.

⁶<https://www.leverhulme.ac.uk/>

⁷L'une de ces plateformes logicielles, déjà populaire à l'époque, était YARP ("Yet Another Robot Platform" (www.yarp.it)) et une autre qui venait de voir le jour était ROS: le système d'exploitation robotique désormais bien reconnu dans la communauté robotique internationale. (www.ros.org).



Figure 4: Alkon-1: Exemples de portraits automatiques: 1ère rangée: (i) Parmi les premiers résultats avec tracés arrondis; (ii) stèle d'Al-Uzza ou Allat, du Temple des Lions Ailés à Pétra en Jordanie; (iii) l'écrivain, biochimiste et humaniste Isaac Asimov; (iv) le physicien Stephen Hawking. 2e rangée: (i) la créatrice du premier programme pour ordinateur Ada Lovelace; (ii) le pionnier du cinéma muet et acteur légendaire Buster Keaton; (iii) l'actrice, productrice et inventrice Hedy Lamarr; (iv) le mathématicien et pionnier de l'informatique Alan Turing.



Figure 5: Alkon-2: Exemple d'un des premiers portraits (signés) produits par Paul le robot: Stella, Londres, 2011.

ses débuts publics à la foire d'art Kinetica, à Londres, en février 2010. Il a immédiatement capté l'attention du public. De longues files d'attente ininterrompues se formaient chaque jour. L'une des vidéos produites pendant cette période, pour une exposition dans une galerie londonienne en 2011, a reçu à ce jour plus de 3,4 millions de "vues" (visites sur internet) et continue d'attirer l'attention et des commentaires, certains soulignant la nature étrange ("uncanny" en anglais) de l'expérience.⁸

La plateforme robotique a permis un mimétisme plus proche des mouvements subtils de la main humaine [51]. De par sa conception, Tresset s'est rendu compte que le bras n'avait pas besoin d'être trop précis dans la façon dont il réalisait son mouvement, comme ce serait le cas pour les applications robotiques traditionnelles. Le bras du robot pouvait avoir un tremblement naturel, et ne pas atteindre systématiquement les objectifs de position fixés par ses routines de contrôle. De plus, le fait d'avoir un mouvement articulé sous la forme d'un bras simple permettait des variations dans les traces produites qui ressemblaient à l'incertitude observable des propres productions de l'artiste humain. Du côté de la recherche, nous avons poussé plus loin nos explorations et avons finalement conclu le projet avec une publication où nous rapportons nos premières tentatives d'introduction de feedback visuels en direct. Comme l'artiste humain, Paul le robot pouvait observer ses propres traces et gestes, à l'aide de son œil-

⁸Sur YouTube: https://youtu.be/bbdQbyff_Sk .

caméra (qui, jusque-là, avait été utilisé uniquement pour trouver et capturer une vue unique d'un visage d'un passant proche). Et son cerveau artificiel pouvait évaluer en temps réel la qualité du rendu dessiné jusqu'à présent pour décider où concentrer son attention par la suite [52].

Ce qui s'est passé ensuite est que Tresset a basculé du milieu universitaire dans le monde des foires d'art, des événements art-science, des galeries d'art, au Royaume-Uni, en Europe et dans le monde entier. Cela continue à ce jour (Figure 6). Tresset a déménagé récemment son atelier de Londres à Bruxelles. Dans les années qui ont suivi notre dernière collaboration (en 2013), il a continué à explorer des améliorations possibles pour ses robots [33, 41]. Il a collaboré avec d'autres chercheurs et a même aidé certaines entreprises de robotique à ajouter la capacité de dessiner à leurs propres robots, comme le robot humanoïde Sophia de Hanson Robotics fin 2019.⁹

Le passage du logiciel au matériel, dans la forme d'un corps (robotique), a joué un rôle important dans l'évolution de la pratique artistique de Tresset. Les différences de signatures stylistiques lors du passage de solutions uniquement logicielles, telles que celles illustrées par Aikon-1, à un système robotique, comme Paul le robot, furent spectaculaires. L'utilisation d'un corps robotique a permis à Tresset à l'époque de capter les subtilités du mouvement et leur rapport à la qualité des traces dessinées, tout en se concentrant sur d'autres aspects de la conception de la plateforme robotique et des potentiels de performance.

Du point de vue de l'art et de la performance, Paul le robot devient une petite expérience théâtrale pour le sujet humain. Le sujet doit se tenir ou s'asseoir près de l'entité robotique, rester immobile (autant que possible) pendant environ 20 minutes pendant que la machine effectue sa série d'observations et de gestes de dessin, qui se terminent par sa propre signature. Tout au long de cette performance, le robot fait des bruits inhabituels, hésite, regarde à nouveau le sujet, semble penser, puis continue à dessiner en regardant sa production. Une expérience relationnelle unique s'établit entre l'humain et la machine. Le sujet humain repart avec un souvenir indélébile.

Tresset choisit de garder ses robots clairement reconnaissables comme des machines articulées. Il est l'artiste humain, concepteur et ingénieur en chef qui explore l'utilisation de telles machines pour étendre sa portée

⁹www.hansonrobotics.com



Figure 6: Patrick Tresset et ses robots dessinateurs. Ci-haut: “La classe”, où l’on découvre une classe entière de robots, où chacun ayant ses caractéristiques uniques, suit l’instruction du maître robot (circa 2017). Ci-bas: “5 robots nommés Paul” et l’artiste (circa 2015).

artistique. Le corps de Paul le robot devient une autre incarnation possible pour Tresset, qui est accessible, contrôlable et reprogrammable par l'artiste humain. Le corps du robot est aussi un outil sophistiqué permettant à l'artiste d'explorer de nouvelles possibilités créatives.

5.3 Calligraphie et Graffiti Digitalisés: Daniel Berio

Cinématique et mouvement corporel: expertise, esthétique

Le travail sur la robotique et le portrait avec Tresset a attiré l'attention de communautés très diverses, de l'informatique et de la robotique aux arts, aux foires d'art, aux musées (un portrait a été acquis par le prestigieux "Victoria and Albert Museum" de Londres), aux événements artistiques et scientifiques, et de nombreux médias. Il a également attiré l'attention de nombreux artistes et aspirants innovateurs en art et en science. L'un d'eux, Daniel Berio, un graffeur italien, a décidé de rejoindre mon équipe à Goldsmiths en 2015. Daniel avait de bonnes connaissances en programmation graphique, et venait tout juste d'être diplômé de la "Royal Academy of Art" de La Haye, où il avait développé quelques premières machines pouvant dessiner.

Afin d'aller au-delà des résultats des projets Alkon (1 & 2) avec Tresset, nous avons décidé, Daniel et moi, très tôt de nous concentrer sur l'importance du mouvement dans la réalisation de traces manuscrites ou dessinées. L'hypothèse principale à tester consistait en: quelle est l'influence de la vitesse et de l'accélération le long d'une trace faite par une main experte (c'est-à-dire par un artiste). En raison de l'expérience de Daniel, nous nous sommes d'abord concentrés sur la production de graffitis. Le graffiti en tant que forme d'art moderne a émergé à New York au début des années 1970 avant de se répandre dans le monde entier, en particulier dans les grandes villes, où de nouveaux styles ont été inventés. Dans sa plus simple expression, le graffiti est une forme d'écriture rapide, laissant une signature ou une étiquette, ou une série de formes de lettres sans signification a priori distincte (en tant que mots). Le but est de réaliser un résultat graphique spectaculaire, généralement sur une grande surface murale extérieure. À l'origine, les artistes graffeurs étaient souvent considérés comme des vandales ou comme faisant partie d'un mouvement de protestation.¹⁰ Cela a eu une forte influence sur le développement de

¹⁰Je ne considère pas ici les questions sociales et politiques liées aux graffitis, par ex-

divers styles, où la vitesse d'exécution est devenue une caractéristique clé. Avec des années de pratique, les artistes de rue les plus talentueux finirent par développer leur propre style graphique et une grande maîtrise dans la réalisation de leurs œuvres d'art [5, 25].

En analysant le domaine de l'écriture et du dessin et son évaluation esthétique, nous avons constaté que d'autres domaines connexes ajoutaient des contributions majeures à considérer pour nous aider à mieux comprendre le processus de production du graffiti et de la calligraphie en général. En psychologie, les scientifiques avaient commencé depuis la fin du 20^e siècle à étudier attentivement les relations existantes entre la cinématique du mouvement et la qualité des traces observées [6, 44]. Un certain nombre de résultats étaient disponibles, décrivant les caractéristiques des mouvements utilisés dans la pratique du dessin et de l'écriture. En particulier, l'hypothèse avait été faite qu'un observateur pourrait apprécier les traces vues dans la calligraphie en reconstruisant dans son propre cerveau les séquences de mouvements probables utilisées dans la production originale [26]. En bref: un observateur naïf (pas nécessairement un expert ou un artiste) générera une activation neuronale dans la partie motrice de son cerveau très similaire à celle qu'il produit s'il effectuait physiquement des séquences de mouvements similaires [37]. Ce que vous voyez stimule votre système nerveux comme si vous aviez fait vous-même les mouvements nécessaires pour réaliser un dessin. De plus, la reconnaissance de l'utilisation de mouvements rapides et fluides conduit à une meilleure appréciation du travail; cela pourrait à son tour constituer une base possible pour une théorie de l'esthétique.

Du côté informatique, un nouveau champ de recherche scientifique est apparu dans les années 1980, appelé graphonomie [31]. Initialement focalisée sur l'ingénierie et la modélisation de systèmes pour dupliquer ou reconnaître des signatures (et détecter les contrefaçons, notamment sur les chèques bancaires), la graphonomie avait mûri et proposait quelques modèles mathématiques très descriptifs de la cinématique des mouvements rapides réalisés par le haut du corps (torse, bras, main) lors du dessin ou de l'écriture [40, 45, 47]. En complément de ces résultats, nous avons également exploré l'état de l'art en robotique, où les mouvements sont étudiés, planifiés et mis en œuvre par des routines de contrôle sur

emple comme forme de protestation ou d'émancipation de la jeunesse. Je me concentre uniquement sur les qualités graphiques et le processus de production d'un tel art.

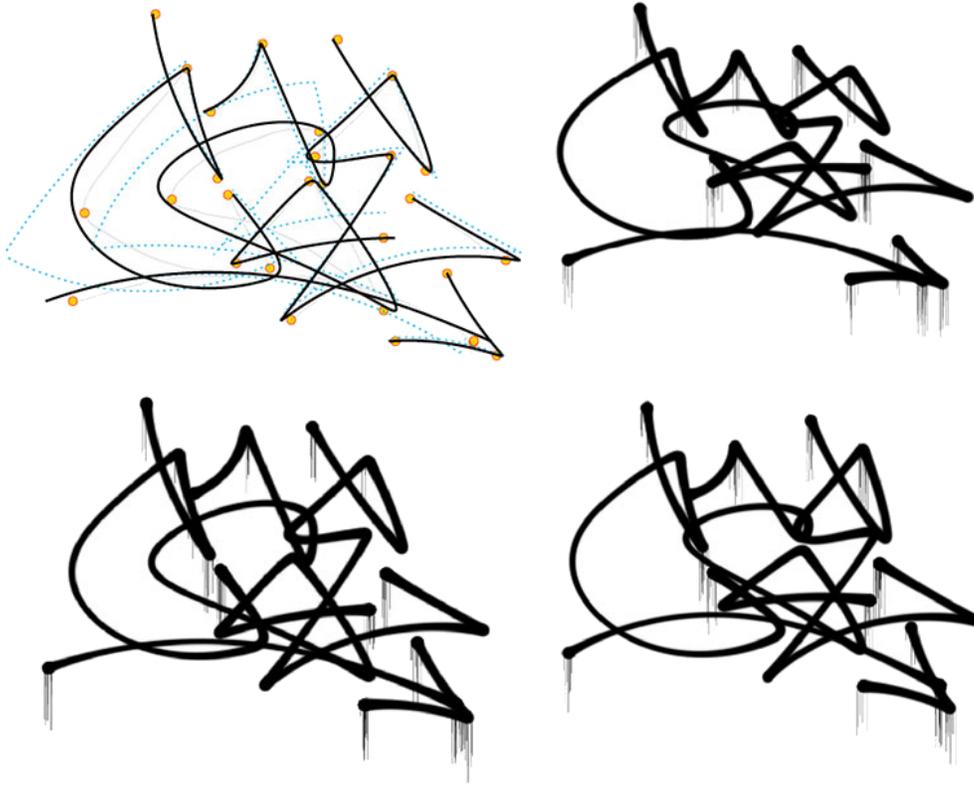


Figure 7: Exemples de “tags” générés automatiquement sur la base d’un nombre restreints de cibles (point en jaunes, en haut, à gauche) et variations paramétriques guidant la cinématique du geste et tracé [15].

la base de cadres probabilistes [23], lorsqu’il s’agit de contextes imprécis ou adaptatifs et d’architectures robotiques plus proches du corps humain: parfois appelées “conformes”, c’est-à-dire flexibles dans leur conception et leur contrôle (pas trop rigide). Les robots conformes et souples sont souvent conçus pour agir à proximité des humains, dans des scénarios collaboratifs.

Le travail avec Berio a maintenant intégré toutes ces sources de connaissances qui ont été rapportées dans un certain nombre de publications et de démonstrations [15, 12, 13, 9, 8, 16, 11, 14]. Nous avons: (i) montré qu’il est possible de récupérer des cinématiques (paramètres de mouvement) à partir de traces statiques, de sorte que les mouve-

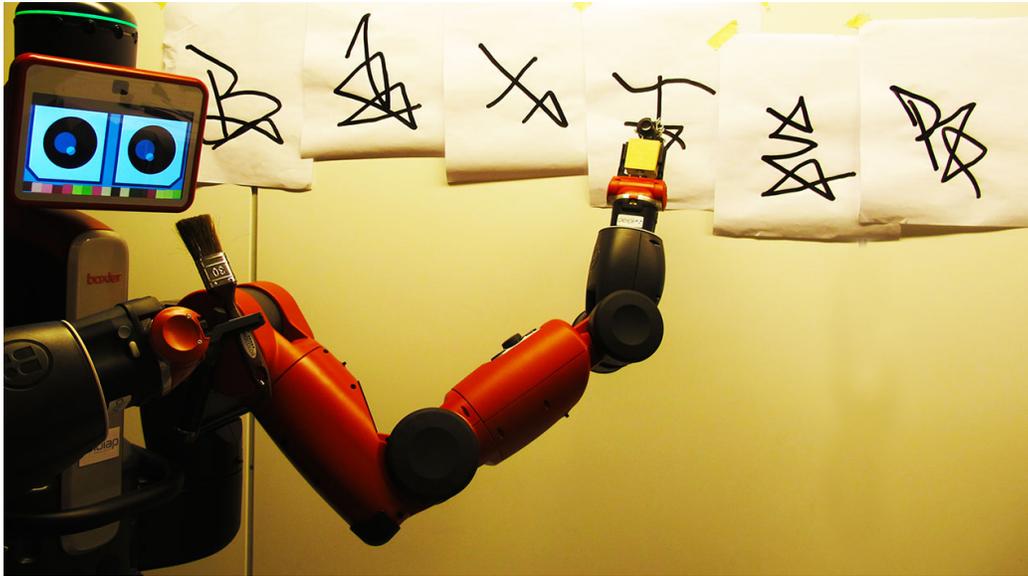


Figure 8: Le robot Baxter (robot humanoïde non-rigide, conçu par Rethink Robotics) ayant appris à écrire ses propres “tags” de qualité s’approchant de celle qu’un humain puisse produire [12].

ments régénérés et les nouvelles traces sont semblables à ceux des experts humains (Figure 7) [17]; (ii) créé et démontré une première méthode d’apprentissage applicable aux robots collaboratifs humanoïdes pour leur permettre d’écrire une calligraphie de qualité humaine (Figure 8); (iii) produit une interface utilisateur, où l’artiste humain peut générer et contrôler facilement des traces calligraphiques d’une manière plus naturelle et aboutissant à une cinématique semblable à celle de l’expert humain [16, 14].

Un projet en cours va au-delà des traces dessinées unidimensionnelles et considère la forme de lettre 2D [11]. Nous intégrons de nouveaux résultats inspirés de la psychologie (perception de la forme) pour permettre la récupération systématique des squelettes de traits à partir de tout symbole 2D ressemblant à des lettres. L’hypothèse étant qu’un trait distinctif commun aux formes de lettres dans toutes les langues (des caractères kanji aux alphabets occidentaux) est leur génération via une série de mouvements de traits (d’une position cible à une autre, lors de l’utilisation d’un stylo ou d’un pinceau) constituant des séries de tracés (Figure 9), y

compris des boucles et tracés sinueux avec applications possible au domaine du tissage et de l'impression 3D (Figure 10). Un autre thème de recherche en cours est axé sur l'apprentissage par des architectures de réseaux neuronaux des nombreux paramètres nécessaires pour contrôler ces systèmes calligraphiques informatisés ou robotiques [8].

5.4 Apprentissage Profond et Mondes Intérieurs: Terence Broad

Réseaux de neurones à découvert: exploration du fonctionnement interne des architectures de réseaux de neurones artificiels.

Les méthodes d'apprentissage profond (de l'anglais "Deep Learning" ou DL) utilisées dans les arts sont explorées (principalement) par une nouvelle génération d'artistes-programmeurs [18, 2]. C'est aussi un moment historique particulier du développement scientifique et du partage des connaissances: les communautés scientifiques impliquées dans le développement du DL (et plus généralement de l'IA) ont pris l'habitude (surtout au cours de la dernière décennie) de publier du code «utilisable» et des jeux de données (avec étiquettes ou sémantique associée). Les jeux de données restent fragmentés, mais la situation est nouvelle: on met à disposition suffisamment d'information pour que d'autres, pas forcément des experts en informatique ou en I.A., se jettent dans ce bain technologique.

Cette disponibilité de logiciels de pointe et de données associées a ouvert la possibilité aux artistes — intéressés par le métier de la programmation — d'explorer cette sphère florissante.¹¹ Une artiste cherchera non seulement à maîtriser (l'utilisation de) la technologie, mais à l'appliquer à de nouveaux objectifs, et peut également changer complètement la façon dont la technologie est utilisée, ou comment elle se comporte, avec la possibilité d'obtenir des résultats surprenants et intéressants.

Une ingénieure ou "data scientist" utilisera le DL pour répondre à des besoins spécifiques, tels que la génération de solutions plausibles basées sur un ensemble de données initiales, lorsque confronté à des données

¹¹Ceci rappelle une autre époque charnière où la photographie, d'abord développée comme une technologie par des inventeurs et des ingénieurs, a été adoptée par les Arts après quelques années de premières explorations, d'abord du portrait, puis comme son propre médium artistique [1].



Figure 9: Génération de graffitis de divers styles à partir d'une représentation des lettres sous forme d'un graphe [11].

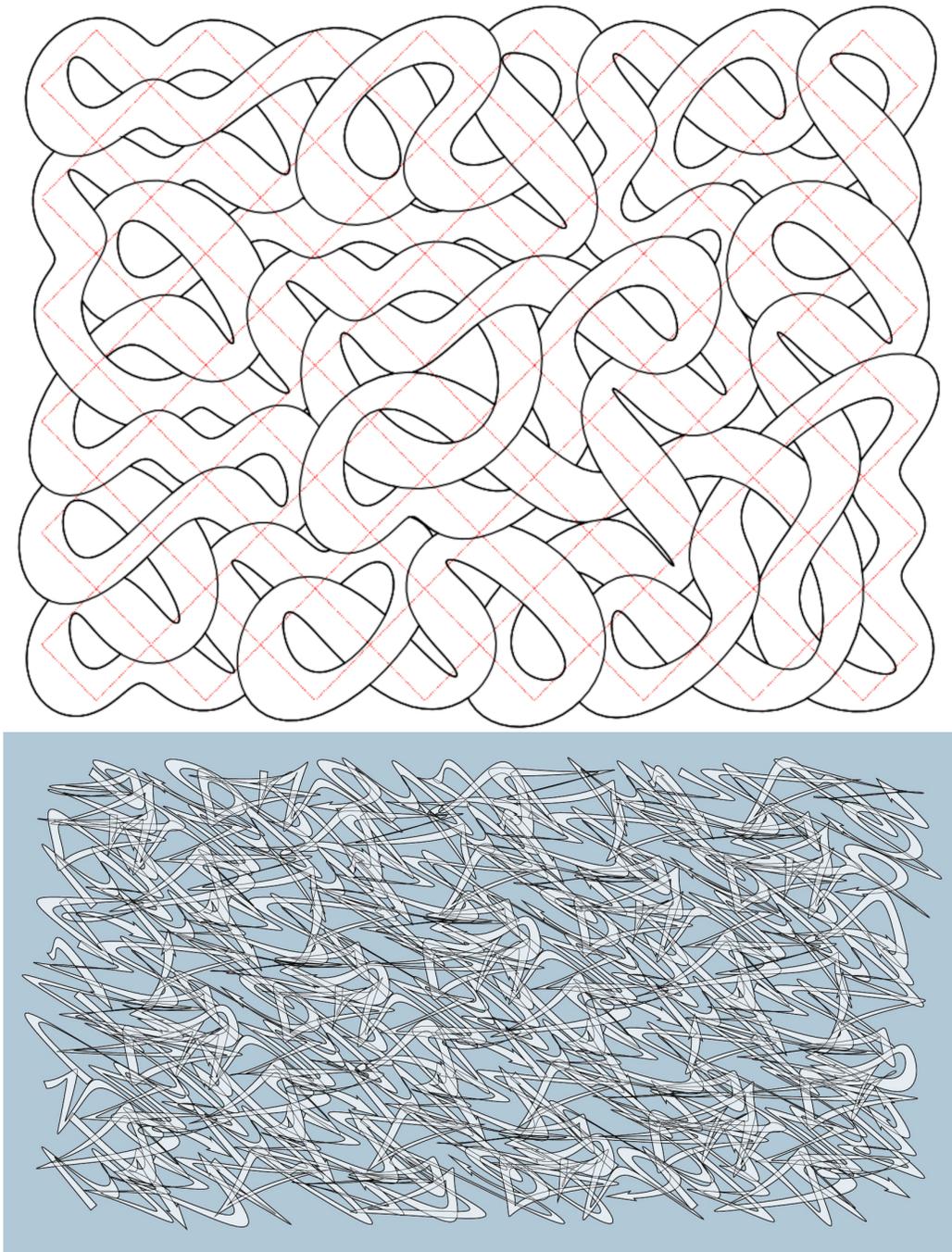


Figure 10: Génération de tracés de tissages sous forme de graffitis, à partir d'une représentation des "lettres" (ou d'un parcours) sous forme d'un graphe [10].

modifiées ou à un nouvel ensemble de paramètres. L'artiste, en revanche, ne s'intéresse pas nécessairement au plausible, et recherche plutôt l'extraordinaire, révélant peut-être de nouvelles émotions en réponse à des images ou des artefacts jamais encore observés.

Dans les applications classiques (avec un objectif utilitaire identifié a priori), les systèmes DL sont traités comme des boîtes noires: leur fonctionnement interne peut tout aussi bien rester incompréhensible (tant qu'ils fournissent des résultats utiles). Dans un contexte artistique, l'inverse est souvent vrai: comprendre (une partie) du fonctionnement interne à un système est souvent la clé pour fournir un plus grand contrôle créatif à l'artiste. Différentes stratégies sont utilisées; on peut essayer de "casser" le système DL (pour conduire à des résultats inattendus), en utilisant des données différentes, en modifiant les paramètres d'entrée habituels, en recâblant l'architecture DL, et voir où cela mène. Une autre stratégie est de chercher des moyens de mieux contrôler le système, par exemple de pouvoir peindre à l'aide d'un réseau de neurones artificiels (RNA) qui reste sous la direction de l'artiste, et de créer une interface utilisateur pour une architecture donnée adaptée aux besoins de l'artiste.

Le mot qui vient souvent à l'esprit lorsque l'on considère des œuvres d'art créées avec l'aide du DL est: *rêveur*.¹² Les résultats évoquent les mondes imaginaires que nous associons aux rêves, ou peut-être des mondes intérieurs fantastiques, fruits de notre imagination. Fait intéressant, à la base même des RNA se trouve l'objectif de construire des simulacres de ce qui peut être observé dans nos systèmes nerveux biologiques. Les RNA sont conçus pour apprendre à réagir à différentes données provenant de sources extérieures, en étant au préalable exposés à des quantités massives de données avec sémantique associée.

De la même manière, les rêves humains sont souvent le résultat de constructions créatives obtenues à partir de souvenirs (récents ou anciens). De nouveaux scénarios ayant leurs origines dans des situations réelles rencontrées précédemment sont joués dans notre petit théâtre intime.

Pour illustrer mes réflexions, je considère certains des travaux récents d'un jeune artiste-programmeur, Terrence Broad. Dans "Blade Runner --- Autoencoded", Broad, en collaboration avec Mick Grierson, a utilisé

¹²Un terme plus technique a été proposé qui s'associe à cet effet visuel: "indétermination visuelle" [28].



Figure 11: Films auto-encodés [19]: cadres de films avec l'original (à gauche) et le reconstruit (à droite). 1ère rangée: Blade Runner (1982). 2e rangée: A Scanner Darkly (2006).

un type de RNA, appelé “auto-encodeur”, pour recréer les images d’un film [19]. L’auto-encodeur est d’abord formé en encodant un flux d’entrée, dans ce cas précis s’agissant des images originales du film de science-fiction Blade Runner (1982). En gros, la moitié de l’architecture RNA est utilisée pour “compresser” les informations contenues dans le film dans un espace latent (la boîte noire). L’autre «moitié» décode cet espace latent pour régénérer autant que possible l’entrée. Après avoir réglé les paramètres de l’architecture et effectué divers cycles d’apprentissage à différentes échelles, les auteurs ont pu demander au système de recréer une version du film à partir de sa «mémoire» (encodée). Alors que certaines scènes, généralement des séquences statiques dans l’original, sont bien recréées, la plupart du reste est une approximation reconnaissable avec un style rêveur et «flou». ¹³ Les auteurs ont ensuite exploré la reconstruction d’autres films en utilisant les paramètres dérivés de Blade Runner et ont obtenu divers rendus au style que je qualifie de “rêveur” (“dreamy” en anglais), Figure 11.

Dans le projet nommé “(un)stable equilibrium” (équilibre instable), Broad et Grierson ont utilisé un autre type de RNA, les “Generative Adversarial Networks” (ou GANs), et ce, d’une manière inhabituelle: sans aucune donnée d’apprentissage [20]. Un GAN a généralement deux réseaux DL essayant de se surpasser l’un l’autre. De subtils changements dans les paramètres, les détails architecturaux, les détails d’optimisation conduisent à une palette de duos intéressants et novateurs, rappelant le mouvement artistique minimaliste des années 1960. À la suite de ce travail, du côté créatif et artistique, Broad a remporté le Grand Prix “ICCV 2019 Computer Vision Art Gallery” (Figure 12). ¹⁴

Le travail suivant impliquait également une architecture du type GAN, utilisé de manière «sournoise». Les GANs d’aujourd’hui sont en particulier utilisés pour produire des “DeepFakes” [32]. L’objectif commun est de laisser l’architecture de DL bicéphale affiner ses compétences afin de générer des images indiscernables de photographies ou de films réels. Mais que se passe-t-il si vous inversez un tel objectif et laissez le GAN se surpasser en créant un contenu non naturel et auparavant jamais vu? C’est ce que Broad en collaboration avec Grierson et moi-même explorons

¹³Une vidéo YouTube documentant le projet a attiré plus de 260,000 vues (<https://youtu.be/3zTMyR-IE4Q>).

¹⁴<https://computervisionart.com/pieces2019/unstable-equilibrium/>

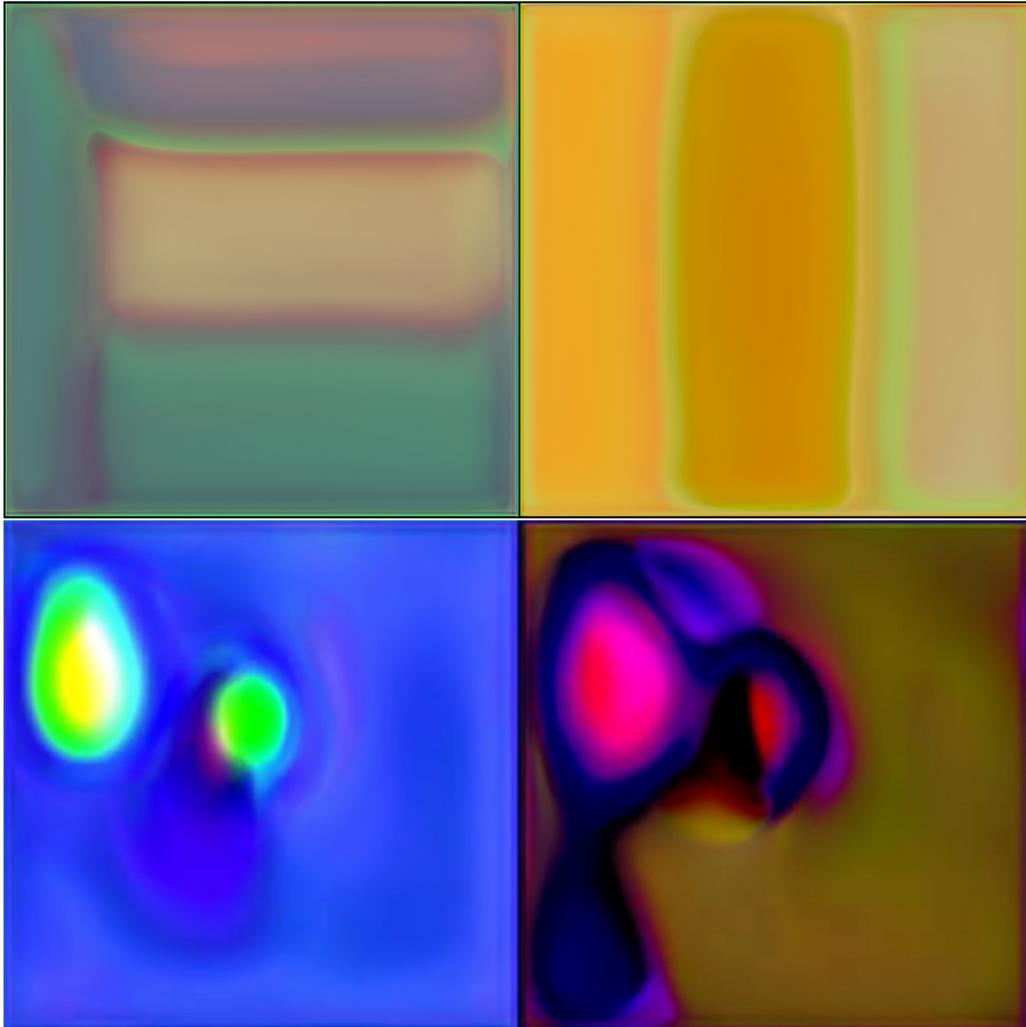


Figure 12: Equilibre instable [20]: paires de résultats transitoires par un couple de réseaux de neurones (architecture "GAN") essayant de se surpasser l'un l'autre.



Figure 13: Traverser la « vallée étrange » à l'envers [21]. Deux exemples, à partir d'une photographie réaliste/naturelle (à gauche) et se déplaçant vers l'étrange (vers la droite).

dans "Amplifying the Uncanny", un article décrivant un système qui nous conduit du réel vers l'irréel, l'inconnu, peut-être même l'effrayant ou l'étrange [21]. Broad a produit en utilisant cette méthode une série d'œuvres d'art intitulée "Being foiled" (Être déjoué, Figure 13).¹⁵ La traversée de la vallée de l'étrange ("uncanny" en anglais) est une manière d'étudier et de représenter certaines émotions humaines qui ont été explorées dans divers domaines tels que la psychologie et la robotique [43].

Dans son travail le plus récent, Broad explore les moyens possibles "d'ouvrir le capot" de la boîte noire du DL. En identifiant diverses couches et paramètres dans un GAN responsable de la représentation et de la manipulation de caractéristiques spécifiques, par exemple les yeux, le nez ou la bouche, dans des images de portraits ou des photos, l'artiste commence à prendre le contrôle de l'architecture neuronale. Une étape suivante consiste à introduire des transformations particulières sous forme de filtres dans les couches hautes d'un GAN. Broad explore plus en détail un tel outil dans un ensemble d'œuvres d'art récentes nommées "Disembodied gaze" (ou Regard désincarné),¹⁶ Figure 14, et "Teratome", Figure 15.¹⁷ Le côté technique, fruit d'une collaboration de Broad avec Grierson et moi-même, se retrouve dans un récent rapport [22].

¹⁵<https://terencebroad.com/works/being-foiled>

¹⁶<https://terencebroad.com/works/disembodied-gaze>

¹⁷<https://terencebroad.com/works/teratome>



Figure 14: Regard désincarné par T. Broad (utilisant l’architecture “Network bending” [22]): quelques résultats d’un réseau de neurones (architecture “GAN”) obtenus en gardant fixe seulement les paramètres responsable de la reconstruction des yeux, et en laissant le réseau libre dans sa reconstruction créative du reste du visage et fond d’image.

6 L’ A.M.I. en point de fuite

J’ai soutenu qu’il existe une fusion naturelle à explorer du trio Art \cap Machine \cap Intelligence. Par “naturel”, je me réfère à sa signification en biologie et en théorie de l’évolution: la sélection est féconde, c’est-à-dire bien adaptée, ici au contexte d’étude de l’intelligence elle-même.

En outre, c’est un objectif ambitieux d’explorer la création artistique par l’entremise de nos machines les plus sophistiquées. J’ai présenté un argumentaire et quelques exemples provenant de certains artistes contemporains pour démontrer la faisabilité: (i) d’étudier les niveaux d’intelligence avec une telle focalisation, et (ii) de simuler et éventuellement d’étendre les niveaux d’intelligence associés. Je souligne que je considère pour l’heure ces extensions comme directement utilisables que par les humains eux-mêmes.

Plutôt que de souhaiter, voire d’espérer, qu’une intelligence générale artificielle (AGI en anglais) “émerge” de constructions complexes, mathématiques et algorithmiques, je préfère penser à l’A.M.I. pour son potentiel dans l’étude et l’extension de l’humain. Je soutiens qu’une focalisation sur des jalons de recherche concrets, en particulier lorsque nous étudions et simulons des compétences artistiques, à des niveaux de plus en plus élevés, peut conduire à des percées concrètes dans la compréhension de



Figure 15: Quelques exemples tirés de la série “Teratome” de T. Broad (utilisant l’architecture “Network bending” [22]): Des filtres ont été insérés dans les couches supérieures d’un réseau de neurones (architecture “GAN”) pour perturber, inverser et tordre le processus de formation d’image.

l'intelligence elle-meme.

References

- [1] Blaise Agüera y Arcas. Art in the age of machine intelligence. *Arts*, 6(4), 2017. <https://doi.org/10.3390/arts6040018>.
- [2] Memo Akten. Foreword. In Frederic Fol Leymarie, Juliette Bessette, and Glenn W. Smith, editors, *The Machine as Art / The Machine as Artist*, pages iv–vi. MDPI, October 2020. <https://www.mdpi.com/books/pdfview/selection/3013>.
- [3] Rui F. Antunes, Frederic Fol Leymarie, and William Latham. Computational ecosystems in evolutionary art, and their potential for the future of virtual worlds. In Yesha Sivan, editor, *Handbook on 3D3C Platforms: Applications and Tools for Three Dimensional Systems for Community, Creation and Commerce*, chapter 16, pages 441–473. Springer, 2016. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22041-3_16.
- [4] Rudolph Arnheim. *Art and visual perception: A psychology of the creative eye*. University of California Press in Berkeley, new version, expanded and revised edition, 1974.
- [5] Anssi Arte. *Forms of Rockin’: Graffiti Letters and Popular Culture*. Dokument Press, 2015.
- [6] Mary K Babcock and Jennifer J Freyd. Perception of dynamic information in static handwritten forms. *The American Journal of Psychology*, pages 111–130, 1988.
- [7] Robert G. Bednarik. The earliest evidence of palaeoart. *Rock Art Research*, 20(2):3–28, 2003.
- [8] D Berio, M Akten, F. Fol Leymarie, M. Grierson, and R. Plamondon. Calligraphic stylisation learning with a physiologically plausible model of movement and recurrent neural networks. In *Proceedings of the 4th ACM International Symposium on Movement and Computing*, London, UK, 2017. Article no.25, pages 1–8.
- [9] D Berio, S. Calinon, and F. Fol Leymarie. Dynamic graffiti stylisation with stochastic optimal control. In *ACM Proceedings of the 4th International Conference on Movement and Computing*, page article no. 18, London, UK, June 2017.

- [10] Daniel Berio. *AutoGraff: Towards a Computational Understanding of Graffiti Writing and Related Art Forms*. PhD thesis, Goldsmiths, University of London, 2020.
- [11] Daniel Berio, Paul Asente, Jose Echevarria, and Frederic Fol Leymarie. Sketching and layering graffiti primitives. In *Proceedings of the 8th ACM/Eurographics Expressive Symposium on Computational Aesthetics and Sketch Based Interfaces and Modeling and Non-Photorealistic Animation and Rendering*, pages 51–59, Genoa, Italy, 2019. Eurographics Association.
- [12] Daniel Berio, Sylvain Calinon, and Frederic Fol Leymarie. Learning dynamic graffiti strokes with a compliant robot. In *Proc. IEEE/RSJ Intl Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pages 3981–3986, Daejeon, Korea, Oct. 2016. doi: 10.1109/IROS.2016.7759586.
- [13] Daniel Berio, Sylvain Calinon, and Frederic Fol Leymarie. Generating calligraphic trajectories with model predictive control. In *Proceedings of the 43rd Graphics Interface*, pages 132–139, Edmonton, Canada, May 2017.
- [14] Daniel Berio, Frederic Fol Leymarie, and Sylvain Calinon. Interactive generation of calligraphic trajectories from Gaussian mixtures. In Nizar Bouguila and Wentao Fan, editors, *Mixture Models and Applications*, Unsupervised and Semi-Supervised Learning Series, pages 23–38. Springer, 2020.
- [15] Daniel Berio and Frederic Fol Leymarie. Computational Models for the Analysis and Synthesis of Graffiti Tag Strokes. In Paul Rosin, editor, *Computational Aesthetics (CAe)*, pages 35–47. Eurographics Association, June 2015.
- [16] Daniel Berio, Frederic Fol Leymarie, and Réjean Plamondon. Expressive curve editing with the sigma lognormal model. In *Proceedings of the 39th Annual European Association for Computer Graphics Conference: Short Papers*, pages 33–36. Eurographics Association, 2018.
- [17] Daniel Berio, Frederic Fol Leymarie, and Réjean Plamondon. Kinematics reconstruction of static calligraphic traces from curvilinear shape features. In *The Lognormality Principle and*

- its Applications in e-Security, e-Learning and e-Health*, volume 88 of *Series in Machine Perception and Artificial Intelligence*, chapter 11, pages 237–268. World Scientific, 2020. https://doi.org/10.1142/9789811226830_0011.
- [18] Juliette Bessette, Frederic Fol Leymarie, and Glenn Smith. Trends and anti-trends in techno-art scholarship. *Arts*, 8(3), 2019. <https://doi.org/10.3390/arts8030120>.
- [19] Terence Broad and Mick Grierson. Autoencoding Blade Runner: Reconstructing films with artificial neural networks. *Leonardo*, 50(4):376–383, 2017. https://doi.org/10.1162/LEON_a_01455.
- [20] Terence Broad and Mick Grierson. Searching for an (un)stable equilibrium: Experiments in training generative models without data. In *Proceedings of the NeurIPS Workshop on Machine Learning for Creativity and Design*, Vancouver, Canada, December 2019. <https://neurips2019creativity.github.io/>.
- [21] Terence Broad, Frederic Fol Leymarie, and Mick Grierson. Amplifying the uncanny. In M. Verdicchio et al., editors, *Proceeding of the 8th Conference on Computation, Communication, Aesthetics and X (xCoAx)*. <https://proceedings.xcoax.org/>, 2020. <https://arxiv.org/abs/2002.06890v1>.
- [22] Terence Broad, Frederic Fol Leymarie, and Mick Grierson. Network bending: Manipulating the inner representations of deep generative models. Technical report, Goldsmiths, University of London, 2020. <https://arxiv.org/abs/2005.12420>.
- [23] S. Calinon and D. Lee. Learning control. In P. Vadakkepat and A. Goswami, editors, *Humanoid Robotics: A Reference*, pages 1261–1312. Springer, 2019.
- [24] Antonio R. Damasio. *Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain*. Grosset Putnam, 1994.
- [25] Alessandro Ferri. *Teoria del writing, La ricerca dello stile*. Professional Dreamers, 2016.

- [26] David Freedberg and Vittorio Gallese. Motion, emotion and empathy in esthetic experience. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(5):197–203, 2007.
- [27] Claire Golomb. Drawing as representation: The child’s acquisition of a meaningful graphic language. *Visual Arts Research*, 20(2):14–28, 1994.
- [28] Aaron Hertzmann. Visual indeterminacy in GAN art. *Leonardo*, 53(4):424–428, 2020. https://doi.org/10.1162/leon_a_01930.
- [29] Tony Hey and Gyuri Pápay. *The Computing Universe: A Journey through a Revolution*. Cambridge University Press, 2014. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139032643>.
- [30] Donald D. Hoffman, Manish Singh, and Chetan Prakash. The interface theory of perception. *Psychonomic Bulletin and Review*, 22(6):1480–1506, 2015. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0890-8>.
- [31] Henry SR Kao, Rumjahn Hoosain, and GP Van Galen, editors. *Graphonomics: Contemporary Research in Handwriting*, volume 37 of *Advances in Psychology*. Elsevier, 1986.
- [32] Stamatis Karnouskos. Artificial intelligence in digital media: The era of deepfakes. *IEEE Transactions on Technology and Society*, 1(3):138–147, 2020. <https://doi.org/10.1109/TTS.2020.3001312>.
- [33] Ryszard W. Kluszczyński, editor. *Patrick Tresset: Human Traits and the Art of Creative Machines*. Laznia Centre for Contemporary Art, Gdańsk, Poland, 2016.
- [34] Jan J. Koenderink. Vision, an optical user interface. *Perception*, 48(7):545–601, 2019. <https://doi.org/10.1177/0301006619853758>.
- [35] Nicholas Lambert, William Latham, and Frederic Fol Leymarie. The emergence and growth of evolutionary art — 1980–1993. *Leonardo*, 46(4):367–375, 2013.
- [36] William Latham, Stephen Todd, Peter Todd, and Lance Putnam. Exhibiting Mutator VR: Procedural art evolves to virtual reality. *Leonardo*, pages 1–14, 2020+. in press.

- [37] Helmut Leder, Siegrun Bär, and Sascha Topolinski. Covert painting simulations influence aesthetic appreciation of artworks. *Psychological Science*, 23(12):1479–1481, 2012.
- [38] Michael Levin. The computational boundary of a “self”: Developmental bioelectricity drives multicellularity and scale-free cognition. *Frontiers in Psychology*, 10:2688, 2019. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2019.02688>.
- [39] Frederic Fol Leymarie. On the visual perception of shape: Analysis and genesis through information models. In *Proceedings of the SHAPES 1.0 workshop*, Karlsruhe, Germany, September 2011. CEUR-WS.org. <http://ceur-ws.org/Vol-812/>.
- [40] Frans J Maarse, Gerard P Van Galen, and Arnold JWM Thomassen. Models for the generation of writing units in handwriting under variation of size, slant, and orientation. *Human Movement Science*, 8(3):271–288, 1989.
- [41] Robert Maddox-Harle. Review of “Patrick Tresset: Human Traits and the Art of Creative Machine”. *Leonardo*, December 2017. <https://www.leonardo.info/reviews-archive>.
- [42] John McCarthy, Marvin L. Minsky, Nathaniel Rochester, and Claude E. Shannon. A proposal for the Dartmouth Summer research project on Artificial Intelligence, august 31, 1955. *AI Magazine*, 27, 2006. <https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904>.
- [43] Masahiro Mori. The uncanny valley. *Energy*, 7(4):33–35, 1970. Original in Japanese; translation in English: by Karl F. MacDorman and Norri Kageki, in *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 19, no. 2, pp. 98–100, June 2012.
- [44] Alessandro Pignocchi. How the Intentions of the Draftsman Shape Perception of a Drawing. *Consciousness and Cognition*, 19(4):887–898, 2010.
- [45] Réjean Plamondon. A Kinematic Theory of Rapid Human Movements. Part I . Movement Representation and Generation. *Biological Cybernetics*, 72(4):295–307, 1995.

- [46] Debi Roberson, Jules Davidoff, Ian R.L. Davies, and Laura R. Shapiro. Colour categories and category acquisition in Himba and English. In Nicola Pitchford and Carole P. Biggam, editors, *Progress in Colour Studies: Volume II. Psychological aspects*, pages 159–172. John Benjamins publishing, 2006. <https://doi.org/10.1075/z.pics2.14rob>.
- [47] Hans-Leo Teulings. Handwriting movement control. *Handbook of Perception and Action*, 2:561–613, 1996.
- [48] Stephen Todd and William Latham. *Evolutionary Art and Computers*. Academic Press, 1992.
- [49] Patrick Tresset and Frederic Fol Leymarie. Generative portrait sketching. In H. Thwaites, editor, *Proceedings of the 11th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM)*, pages 739–748, Ghent, Belgium, 2005.
- [50] Patrick Tresset and Frederic Fol Leymarie. AIKON: the Artistic/automatic IKONograph. In *SIGGRAPH Research Posters*, page 37, Boston, MA, USA, 2006. ACM. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1179622.1179664>.
- [51] Patrick Tresset and Frederic Fol Leymarie. Sketches by Paul the Robot. In Douglas Cunningham and Donald House, editors, *Computational Aesthetics in Graphics, Visualization, and Imaging*. The Eurographics Association, 2012. Best paper award.
- [52] Patrick Tresset and Frederic Fol Leymarie. Portrait drawing by Paul the robot. *Computers and Graphics*, 37(5):348–363, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2013.01.012>.
- [53] Alan M. Turing. Computing machinery and intelligence. *Mind*, LIX(236):433–460, October 1950. <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>.