
Contribution

Art et intelligence artificielle : tour d’horizon

ÉDITH VIAU, ARTISTE INDÉPENDANTE ¹

Résumé

Les techniques issues de l’intelligence artificielle semblent destinées à prendre une place de plus en plus importante dans la société. L’art peut-il nous aider à développer une réflexion citoyenne au sujet de leur rôle et de leur importance ? Peut-on mieux comprendre ces techniques par le biais de la création artistique ? Nous vous proposons d’effectuer un état des lieux avec nous et de plonger dans cet univers à l’aide de ce survol commenté de la littérature.

Mots clés : intelligence artificielle, informatique, art, arts numériques, beauté mathématique

1 Introduction

Les techniques issues du domaine de l’intelligence artificielle (IA) ont été à l’avant-plan ces dernières années. Nous pouvons penser à la traduction automatique et à la compréhension du langage naturel, à la reconnaissance d’images et à la vision par ordinateur sans oublier les systèmes de recommandation ou encore, la complétion automatique de textes informatiques.

Dans cet article, nous allons partir à la découverte des pratiques artistiques contemporaines en art s’inspirant ou utilisant des techniques d’IA. Tout au long de notre exploration, nous allons nous questionner sur l’apport de ces techniques pour la création artistique ainsi que sur leur rôle comme artefact sociologique nous permettant de pousser plus loin les réflexions critiques sur les rôles que ces techniques sont de plus en plus souvent appelées à jouer dans nos sociétés. Enfin, nous nous intéresserons à ce que l’art peut apporter à la recherche en IA ; comment l’art peut-il nous aider à comprendre et à expliciter certains des concepts importants de l’IA contemporaine ?

Nous allons commencer par présenter des artistes précurseurs dont le travail a pu jeter les bases d’une pratique artistique inspirée de l’IA. Puis, nous discuterons des oeuvres d’artistes contemporains en arts numériques afin d’explicitier les liens entre leur pratique et l’IA.

1. B.Sc. Mathématiques, UQÀM et M.Sc. Ingénierie Financière, HEC Montréal

Des réflexions ouvertes sur l'art et l'IA nous permettront de définir des concepts utiles pour guider nos réflexions sur le rôle de l'IA dans la formation citoyenne. Nous terminerons par un survol des étapes historiques de développement de l'IA avant de conclure en abordant les liens entre l'art, l'IA et la formation citoyenne.

2 Exploration : à la rencontre de l'art et de l'IA

Nous avons choisi un ensemble d'artistes selon l'intérêt qu'ils pouvaient présenter pour une personne familière avec les mathématiques ainsi que sur le fait que ces artistes aient eux-mêmes un intérêt pour des sujets de société et d'actualité, des critères qui sont en accord avec la thématique du congrès 2019 de l'AMQ, soit la formation citoyenne.

La liste n'est pas exhaustive et nous encourageons les lecteurs et lectrices à faire leurs propres recherches.

2.1 Précurseurs

Qui sont les premiers artistes numériques ? Quels étaient leurs sujets de prédilection ? Entre les machines et l'artiste, qui porte l'acte créateur ? Une ébauche de réponse se trouve dans cette réflexion :

«L'argument de Nake [Frieder Nake, mathématicien, informaticien et artiste numérique – note de l'auteure] est simple : il n'y a pas de chef d'oeuvre en arts numériques car l'art numérique n'a pas comme objectif de produire des « oeuvres ». Le sujet de l'art numérique est la conception de systèmes, ainsi que la beauté et la cohérence de ces systèmes. Dans d'autres mots, c'est la méthode, et non l'artefact, qui est pertinente pour le jugement esthétique d'une oeuvre. »²

Cette citation, tirée de l'article *The Past, Present and Future of AI Art* [48]³, nous ouvre la porte sur le travail de Sol LeWitt.

2. Version originale : «Nake's argument is simple : there are no masterpieces in computer art because computer art is not about the production of «pieces». It is about the production of system designs, and about the beauty and coherence of these designs. In other words, it is the method, not the artifact, that is relevant for the aesthetic judgement of a work.»

3. Cet article contient une brève mais bien écrite introduction au *computer art*, ou art numérique.

2.1.1 Sol LeWitt

Artiste conceptuel américain, Sol LeWitt [43] capte notre attention pour son questionnement sur le libre arbitre, la création par algorithmes et son esthétique minimaliste rappelant la géométrie euclidienne. L'oeuvre qui retient notre attention est la série *Wall Drawings* [38], constituée d'un ensemble d'instructions variées quant au dessin de formes géométriques sur un mur, et qui sert de canevas à la réalisation de l'oeuvre, habituellement par une personne autre que l'artiste lui-même. Ces ensembles d'instructions ne sont pas toujours suffisamment précis et laissent donc place à l'interprétation, à l'arbitraire, à l'aléatoire⁴.

Nous l'avons choisi comme précurseur car il reprend à nos yeux le concept de création systématique. Pour reprendre ses mots, « l'idée devient la machine qui crée l'art »⁵. À nos yeux, l'artiste cherche à mettre en place des procédés servant de guides à la création, et par le fait même rend possible la création systématique d'oeuvres.

Un autre aspect de son travail nous est important : la place qui est laissée à l'arbitraire. Ses instructions sont souvent basées sur des choix : il faut placer de façon aléatoire un certain nombre de points sur une feuille, par exemple. Quelle est la bonne façon de prendre une décision de façon aléatoire ? Existe-t-elle ? Ces oeuvres peuvent servir d'introduction à des concepts mathématiques avancés – sur la génération de nombres aléatoires, par exemple – et sur leur utilisation dans les algorithmes d'IA.

2.2 Contemporains

Trois artistes ont su retenir notre attention pour cet article : Rafael Lozano-Hemmer, Mimi Onuoha et Tom White. Ces trois artistes utilisent l'IA et les arts numériques pour créer des oeuvres qui posent un regard critique sur les performances des algorithmes d'IA, sur leur place dans la société et l'utilisation qui en est faite, ainsi que sur certains des concepts fondamentaux de l'informatique, comme les tests de Turing.

Pour aller à la découverte d'autres artistes oeuvrant avec l'IA, nous vous invitons à consulter les sites collectifs aiartists.org, [8] et [9] ainsi que celui de McDonald [40].

4. Tel que le raconte un candidat : « I once did one of your wall drawings myself. You sent me a set of instructions that read, "Using pencil, draw 1,000 random straight lines 10 inches long each day for 10 days, in a 10-by-10-foot square." The distribution of the lines in the square was totally up to me. I didn't know what you wanted it to look like. » Ostrow [53]

5. « The idea becomes the machine that makes the art », notre traduction. Modern Art Museum of Fort Worth [42]

2.2.1 Rafael Lozano-Hemmer

Artiste canadien d'origine mexicaine, Rafael Lozano-Hemmer jouit d'une grande popularité sur la scène internationale, succès qui lui a valu d'être le sujet d'une exposition-rétrospective au Musée d'Art Contemporain de Montréal, en 2018. Ses projets abordent différents sujets reliés aux applications de l'IA, comme la surveillance de masse, la biométrie et le contrôle socio-politique. Trois de ces projets retiennent notre attention : *33 Questions per Minute* [34], *Subtitled Public* [35], et enfin, *Zoom Pavilion* [36]. Nous reprenons ici les explications de l'artiste.

Dans *33 Questions per Minute* (« 33 questions par minute », notre traduction), des questions sont générées par un programme informatique à partir de règles de grammaire. Cette oeuvre de poésie machine⁶ se veut une sorte de test de Turing⁷ : il est difficile de déterminer si les questions, souvent absurdes ou insensées, sont le fruit d'un esprit humain ou d'une machine.

Quant à elle, l'oeuvre *Subtitled Public* (« Public sous-titré », notre traduction) invite le public à se promener dans une pièce surveillée par caméra, alors que sont projetés sur les individus y défilant des mots choisis au hasard. Ces mots-étiquettes peuvent être échangés, en touchant un autre participant. Cette critique de la surveillance publique sert aussi de remise en question des espaces d'observations, comme les musées : qui est observé ? qui observe ?

Enfin, dans *Zoom Pavillion* (« Pavillon d'amplifications », traduction inspirée du titre espagnol), la critique de la surveillance atteint son sommet : sur trois murs sont projetées des images issues d'un système de caméras situées dans la salle d'exposition. On se regarde être regardé.e.s par le biais d'un système de reconnaissance faciale. Cette collaboration entre Lozano-Hemmer et Krzysztof Wodiczko permet de voir de l'autre côté du miroir de la surveillance et explicite ce qu'il est technologiquement possible de faire à notre époque.

2.2.2 Mimi Onuoha

Au coeur de plusieurs des algorithmes d'IA se trouve une grande quantité de données servant à entraîner ces algorithmes. D'où viennent ces données ? Quelles données sont ainsi disponibles ? Quel est l'impact sur la société de cette collecte de données ?

Par sa pratique artistique multimédia, Mimi Onuoha s'intéresse « (aux) relations sociales et aux dynamiques de pouvoirs soutenant la collecte de données » (Onuoha [49]). Ses oeuvres explorent des thématiques questionnant l'éthique de l'IA, cherchant à ébranler certaines des hypothèses de base permettant aux algorithmes d'être aussi efficaces.

6. De *automatic poetry*, dans la présentation originale se trouvant sur le site de l'artiste. Notre traduction.

7. Voir la section 4 portant sur l'histoire de l'IA de notre article pour une explication de ce test

Dans les oeuvres de la série *Missing Data* [51] (« Données manquantes », notre traduction), Onuoha s'intéresse aux données qui n'ont pas été collectées ou qui ne peuvent être collectées, à l'absence de données d'importance sociale, politique ou scientifique. L'absence de données impliquant l'absence d'analyses pouvant être effectuées sur ces données, le public est amené à se questionner sur comment sont choisies les questions jugées importantes pour la société contemporaine.

Dans *Pathways* [50] (« Chemins », notre traduction), l'artiste présente les déplacements de groupes de gens dans la région de Londres, pour un mois donné. Ces histoires de données permettent de mettre de l'avant l'importance et la puissance de l'agrégation : en regroupant l'ensemble de ces données, il est possible d'esquisser un portrait précis des intérêts d'une personne, et ce, simplement à partir des données mobiles. Soulignons l'histoire d'un couple dans une relation à longue distance, éloigné dans différents pays : l'artiste effectue une petite analyse en croisant les données, et établit que les deux membres du couple correspondent plus souvent lorsqu'ils sont éloignés⁸.

Ces oeuvres démontrent les types d'analyses pouvant être effectuées sur différentes données, et peuvent servir d'introduction à des réflexions critiques sur le rôle de la donnée dans notre société.

2.2.3 Tom White

Dans la littérature académique portant sur les réseaux de neurones émerge un concept : celui de la capacité d'abstraction des algorithmes utilisés. De façon générale, nous sommes curieux de découvrir si les algorithmes sont capables de construire une représentation abstraite des éléments reçus en entrée. Par exemple, soit un algorithme de classification d'images et supposons que celui-ci reçoive en entrée des photos de différents animaux : se construit-il une représentation de chaque catégorie, ce qui lui permettrait de « reconnaître » un exemplaire de cette catégorie plus facilement ? C'est l'une des principales questions qui est explorée par Tom White dans sa série d'oeuvres visuelles basées sur la base d'images ImageNet [30]⁹.

Dans son essai intitulé « Perception Engines » [70], White détaille son procédé, qui consiste à créer des images abstraites qui seront par la suite reconnues comme l'abstraction désirée par un algorithme de classification pré-entraîné.

8. « The number of messages that they exchange decreases when they're together and increases as they separate. Week Three is the week that they are together », tiré de <https://www.nationalgeographic.com/pathways/couplemap.html>

9. Pour un commentaire sociologique sur la base de données ImageNet, voir le projet Excavating AI [16] de Crawford, K. et Paglen, T.

Sur son site web personnel [69], White explique : « En coopération avec des systèmes d'IA, je crée des impressions abstraites réelles qui sont classées de manière fiable par les réseaux de neurones. C'est de l'art pour l'IA, par l'IA. En donnant une voix aux algorithmes, nous sommes ainsi capables de voir le monde à travers les yeux d'une machine » (notre traduction)¹⁰. Ces impressions, construites par l'artiste à l'aide des machines à percevoir, nous permettent d'explorer par l'art les capacités d'abstractions réelles de ces algorithmes.

2.3 Pour aller plus loin

Pour aller plus loin dans la (re)découverte d'oeuvres et d'artistes reliés à l'IA, nous vous suggérons les sites suivants : le blog personnel de Luba Elliott [19], le collectif sur la créativité et le design de la conférence NeurIPS [20], le numéro de la revue *Nautilus* dédié à l'art et à l'IA [46], cet article de Matteo Pasquinelli qui retrace l'histoire de l'IA au travers de l'art [55], un blog humoristique par Janelle Shane au sujet de la génération automatique de texte [60], ainsi qu'un article sur le regard de l'algorithme par James Vincent [68]. Soulignons enfin l'article de Penah et Carvalhais [56], qui aborde la question suivante : lorsque l'IA fera de l'art, sera-t-il possible pour nous, humains, de le comprendre ?

3 Réflexions : au sujet de l'art et de l'IA

Qu'est-ce que l'art ? Comment définit-on l'IA ? Y a-t-il d'autres techniques permettant de faire le lien entre l'art et l'IA ? Voici quelques-unes des réflexions qui nous intéresseront dans cette section.

3.1 Définitions

Commençons par des définitions libres de nos deux principaux sujets, soit l'art et l'IA. Ces questions de définitions confondant praticiens, philosophes, critiques et analystes, nous ne pensons pas arriver au bout de celles-ci ; notre objectif est plutôt d'esquisser une porte d'entrée pour les aborder.

10. « Collaborating with AI systems, I create physical abstract prints that are reliably classified by neural networks. It's art by AI, for AI. By giving the algorithms a voice to speak in we are better able to see the world through the eyes of a machine. »

3.1.1 Qu'est-ce que l'art ?

Qu'est-ce qui différencie une oeuvre d'art d'un autre type de réalisation humaine ? Bien que nous soyons d'avis que cette définition est probablement fort subjective, nous pensons que les définitions possibles peuvent se pencher sur certains critères, notamment :

- la beauté d'une oeuvre,
- les émotions suscitées par celle-ci,
- la maîtrise des techniques employées pour sa réalisation,
- le caractère innovant ou original des techniques ou de la thématique,
- l'unicité soit le fait que l'oeuvre soit difficile ou impossible à reproduire.

Cette liste personnelle de critères n'est pas exhaustive. L'appréciation d'un travail en tant qu'oeuvre d'art est profondément subjectif.

3.1.2 Qu'est-ce que l'IA ?

De façon générale, l'IA est un ensemble de connaissances dont l'objectif est d'étudier et de créer des algorithmes s'approchant de capacités humaines, de mettre en oeuvre des technologies démontrant une certaine forme d'intelligence automatique, notamment les capacités d'apprentissage à partir d'exemples ou à partir d'expériences.

Plus récemment, l'IA s'est exprimée sous la forme d'algorithmes d'apprentissage machine, ou *machine learning* en anglais. Ces algorithmes font preuve de capacités d'abstraction, notamment en vision par ordinateur, en traitement automatique du langage naturel ou encore par le développement de systèmes de recommandations – des capacités nouvelles pour des algorithmes.

3.1.3 Créativité et humanité

Notre avis personnel est qu'une caractéristique propre à l'humanité est sa capacité de créativité, exprimée par diverses avenues, notamment les arts, mais aussi la recherche scientifique, le développement en génie et l'innovation en affaires, pour ne nommer que quelques exemples. Un des débats centraux animant la communauté en IA et en arts est de savoir s'il est possible pour des algorithmes d'être créatifs, d'exprimer une vision artistique, en d'autres mots de devenir des artistes.

Cette question ne pouvant se traiter avec justesse en un ou deux paragraphes, nous souhaitons présenter au lectorat quelques méthodes de créativité algorithmique, et lui laissons le soin de réfléchir sur les potentielles différences entre créativité algorithmique et créativité humaine.

3.2 Techniques artistiques en IA

Le domaine de l'IA est non seulement une source d'inspiration pour la pratique en arts, mais aussi un répertoire de techniques artistiques. Nous présentons ici deux des principales techniques issues de l'IA qui sont utilisées en arts visuels pour la création d'oeuvres.

3.2.1 Transfert de style

Les techniques de transfert de style visent à représenter le contenu d'une première image A selon le style artistique d'une seconde image B . Par exemple, on peut créer une nouvelle peinture d'un.e peintre connu.e en transférant le style d'une image B d'une peinture de l'artiste dont il est question, sur une image A représentant un contenu quelconque mais nouveau pour l'artiste.

Il est possible d'essayer ces techniques sur ses propres photos en ligne, notamment sur DeepArt <https://deepart.io> [17]. Pour plus d'informations, consultez le tutoriel TensorFlow [67] et Gatys [25].

3.2.2 Réseaux de neurones antagonistes génératifs

Les réseaux de neurones antagonistes génératifs (*generative adversarial networks*, ou GANs, en anglais) sont un ensemble de techniques d'apprentissage machine visant à créer des nouvelles images de synthèse de façon à ce qu'elles soient indiscernables d'images authentiques (voir Goodfellow [27]). Le processus est astucieux : un premier réseau de neurones génère des images, qui seront évaluées par un second réseau de neurones sur leur authenticité. L'objectif du premier réseau est de faire en sorte que le second réseau soit incapable de dissocier les images de synthèse des images réelles.

On peut concevoir que le premier réseau génère ainsi des images issues d'une sorte d'espace latent (*latent space*, notre traduction) des images que l'on souhaite reproduire. Ces techniques ont inspiré plusieurs artistes à innover en créant leur propre ensemble de données sur lequel entraîner des réseaux de neurones antagonistes génératifs. Pensons notamment à Anna Ridler [57], qui s'inspire d'une bulle financière hollandaise connue sous le nom de Tulipmania pour créer et mettre aux enchères des tulipes artificielles, en se basant sur des technologies issues de la chaîne de blocs ; et à Sarah Friend [23], qui utilise ces techniques pour explorer comment un algorithme perçoit le concept d'interface utilisateur, notamment pour les réseaux sociaux.

4 Petite histoire de l'IA

Avant de conclure, nous aimerions présenter une brève histoire de l'IA, afin de guider le lectorat dans ses explorations. Cette histoire ne se veut pas exhaustive ; l'objectif est plutôt de situer dans le temps l'arrivée de certains événements généralement jugés d'importance par la communauté quant au domaine de l'IA.

Pour une discussion plus approfondie de l'histoire de l'IA, nous vous invitons à consulter « *Artificial Intelligence* », de Stuart Russell et Peter Norvig [58] (disponible en français sous le titre « Intelligence artificielle »).

4.1 Avant l'ère numérique

Ce n'est pas l'absence d'ordinateurs électroniques qui puisse mettre frein à la créativité humaine quant aux possibilités d'un jour pouvoir créer une IA. Voici quelques exemples historiques choisis de cette créativité, suivis d'exemples des premières machines programmables ainsi que d'une liste non-exhaustive des avancées mathématiques essentielles au développement de l'ère numérique telle qu'on la connaît de nos jours.

4.1.1 Exemples historiques choisis

Bien avant l'ère numérique, les humains s'imaginent possible qu'une machine, vue ici comme une création artificielle ou mécanique, prenne conscience et devienne vivante. Ce sont des idées que nous retrouvons à différentes époques et à de multiples endroits, sous des formes diverses. Par exemple, nous trouvons dans la mythologie grecque *Pygmalion et Galatée*, une statue qui prend vie (Ovide [54]), ou encore *Talos*, un géant de bronze (La Bibliothèque d'Apollodore [6]) ; en Chine, nous pouvons penser aux hommes mécaniques de Yan Shi, tel que rapporté par Needham [47]. Mentionnons finalement les automates d'Ismail al-Jazari, dont certains servent des boissons ou jouent de la musique [2].

4.1.2 Premières machines programmables

Au début des années 1800, Joseph-Marie Jacquard utilise des cartes perforées pour construire une, sinon la première machine programmable : un métier à tisser.

Les débuts de l'automatisation ne se font pas sans heurts, notamment du fait de la crainte de la perte d'emploi. Celle-ci date d'au moins la Révolution Industrielle : pensons notamment aux Luddites (de Castella [7]).¹¹

4.1.3 Avancées mathématiques essentielles

Plusieurs avancées mathématiques essentielles à l'IA ont été développées avant le XX^e siècle, notamment le calcul différentiel (17^e siècle, habituellement attribué à Newton et à Leibniz, de façon indépendante¹²), le système numérique binaire (attribué à Leibniz, voir son *Explication de l'arithmétique binaire*, 1703 [32]), ainsi que l'algèbre booléenne (le nom est tiré de Georges Boole, dont les travaux commencés au moins en 1847 portent sur cette algèbre, tel qu'en fait foi la publication du livre *The Mathematical Analysis of Logic* [5]).

En ajoutant à ces domaines mathématiques les développements en statistiques et en probabilités, nous obtenons les ingrédients de base des algorithmes modernes d'apprentissage machine et d'IA.

4.2 Début du XX^e siècle

Le début du XX^e siècle est effervescent au niveau de la recherche en mathématiques et en informatique. Parmi les questionnements animant la recherche, on note ceux portant sur l'existence d'au moins un algorithme qui serait bien utile aux mathématiciens : c'est le *Entscheidungsproblem* d'Hilbert, formulé en 1928¹³ [1].

4.2.1 Algorithmes et logique

N'étant pas experts en logique, nous nous satisferons d'une version informelle de ce problème d'Hilbert : existe-t-il un algorithme général permettant de conclure si une proposition est

11. Notez que durant la présentation, j'ai utilisé l'exemple de la révolte des Canuts (Lyon, France) comme illustration antérieure à notre époque de cette peur de l'automatisation et des machines. Après une lecture plus approfondie, cet exemple mériterait une plus longue enquête afin de déterminer si les machines à tisser de Jacquard sont reliées de cette façon avec les événements de la révolte des Canuts. L'exemple des Luddites nous permet d'illustrer les propos de façon plus éloquente.

12. Le débat sur l'attribution du calcul est une des controverses importantes en histoire des mathématiques, qui est externe aux propos de cet article. Pour une élaboration sur le sujet, écrite par un mathématicien, consultez « The History of the Priority Dispute between Newton and Leibniz » par Thomas Sonar [64], ou pour une version plus courte, la critique de ce livre qui a été publiée à la Mathematical Association of America, par Mark Hunacek [29]

13. Ce problème est aussi connu sous le nom de *problème de la décision*.

démontrable, pour un ensemble d'axiomes donnés ?¹⁴

Il faudra attendre le développement du λ -calcul (Church, 1936¹⁵), ou encore des machines de Turing [65] la même année pour obtenir une réponse. Ces travaux font mention du théorème d'incomplétude de Gödel [26].¹⁶

4.2.2 Premiers ordinateurs

Durant la Seconde Guerre Mondiale, quelques ordinateurs sont construits¹⁷, mais il faudra attendre 1946 pour que l'ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) soit présenté au public.

Le ENIAC, un ordinateur électronique, se veut d'utilisation générale plutôt que spécialisée¹⁸.

4.2.3 Théorie de l'information

Mathématicien et ingénieur, Claude Shannon est l'auteur de *A Mathematical Theory of Communication* (1948) [61]. Ses résultats fondamentaux sur les limites théoriques de la transmission de communications, sur l'encodage et sur le concept d'entropie constituent les bases de ce qui sera dorénavant appelé la théorie de l'information.

Pour plus d'informations sur les liens entre les algorithmes d'apprentissage et la théorie de l'information, consultez *Information theory, inference and learning algorithms* [37], de MacKay.

4.2.4 Test de Turing

Dans un article publié en 1950 [66], Turing énonce son fameux test de Turing, soit un test permettant de confirmer si une machine démontre un comportement suffisamment similaire à celui d'un être humain, un comportement tellement humain qu'il soit impossible de distinguer la machine de l'être humain.

14. La réponse est : il n'existe pas de tel algorithme !

15. Bien que le livre ait été publié en 1941, il se base sur des notes datées de 1936. Frink [24]

16. Pour une discussion plus approfondie de ces travaux, consultez la *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, (Copeland [15]).

17. Notamment par les Allemands, puis par les Américains et les Britanniques. Pour une introduction à l'histoire des ordinateurs, consultez le site du *Computer History Museum* [11].

18. Pour plus d'informations sur le développement des premiers ordinateurs, se référer au *Computer History Museum* [12].

4.2.5 Programmes jouant à des jeux

Plusieurs chercheurs et inventeurs s'intéressent à créer des programmes permettant de jouer automatiquement à des jeux ; nous pensons notamment aux échecs (Shannon [62]) ou aux dames (Samuel [59]). Ces recherches sont une partie importante du développement des algorithmes d'IA et en font toujours partie : pensons aux jeux vidéos avec *OpenAI* [52] ou au jeu de go avec *DeepMind* [18].

4.2.6 Conférence de Dartmouth

En 1956, McCarthy, Minsky, Rochester et Shannon organisent à Dartmouth une conférence sur l'IA [39]. Pour en savoir plus, consultez les archives de Dartmouth [63].

4.3 De 1950 à aujourd'hui

Suite à ces premières ébauches plutôt théoriques, les chercheurs en mathématiques, informatique, neurosciences, biologie et linguistique ont collaboré sur différents travaux, théoriques et techniques, parfois avec succès. Ces succès ont donné lieu à des champs de recherche spécifiques.

4.3.1 Domaines de recherche théoriques et pratiques de l'IA

Au fil des années, les chercheurs en IA se sont intéressés aux façons de donner des capacités humaines aux algorithmes : compréhension et traitement automatique du langage naturel, vision par ordinateur, algorithmes pouvant affronter des êtres humains à des jeux de table et à des jeux vidéos, composition musicale automatique, classification d'images, analyse de données, robotique... Les champs d'applications sont tout aussi élaborés et divers que les occupations humaines. Pour aller plus loin, on peut consulter Bishop [4] et MacKay [37].

Ces applications techniques ont aussi bénéficié d'avancées en algorithmiques, et du développement d'ordinateurs toujours plus puissants. Parmi ces algorithmes, notons la famille d'algorithmes connue sous le nom d'apprentissage profond.

4.3.2 Apprentissage profond

Plusieurs des domaines de recherche pratiques de l'IA ont connu un second souffle avec le développement pratique des algorithmes d'apprentissage profond (*deep learning*), des algorithmes généralisant le concept de réseau de neurones : en effet, un tel réseau peut maintenant être

constitué de plusieurs couches de neurones, nommées *hidden layers* ou couches cachées, qui participent aux calculs nécessaires à l'apprentissage machine (pour en savoir plus, consulter Goodfellow, I., Bengio, Y. et Courville [28]).

Ces algorithmes d'apprentissage profond et leur implémentation ont valu à Yoshua Bengio, Geoffrey Hinton et Yann LeCun d'être récipiendaires du prix Turing de 2018.

5 Conclusion

Quels sont les points importants pour la communauté mathématique quant à l'art et à l'IA ? De quelles façons peut-on aborder ces sujets en classe afin de contribuer à la formation citoyenne des étudiant.e.s ? Nous sommes d'avis que ces sujets portent en eux plusieurs fils conducteurs permettant de les relier, les voici.

5.1 Art et IA : pour la formation citoyenne

Les algorithmes d'IA sont de plus en plus présents dans nos sociétés axées sur la technologie. Quelles sont les conséquences de leur utilisation pour la société en général ? Quelles sont les questions éthiques soulevées par leur implémentation ? Faut-il se méfier de ces algorithmes ?

Afin d'illustrer ces propos, prenons l'exemple de la recommandation d'articles d'actualité sur un réseau social : si un algorithme recommande surtout des articles similaires à ceux déjà consultés, développerait-on autant l'esprit critique que si l'algorithme recommande des articles différents de ceux déjà consultés ? Comment juge-t-on qu'un article est « différent » d'un autre ?

Ce sont là des questions d'intérêt pour la formation citoyenne, afin d'amener les étudiantes et étudiants à se questionner sur les informations consultées quotidiennement. Milner [41] pousse plus loin cette réflexion.

5.2 Art et IA : pour les mathématiques

Nous avons vu par le travail de différents artistes que l'art nous permet d'aborder l'IA d'une façon qui nous permet d'ouvrir les boîtes noires que sont certains de ces algorithmes, afin d'illustrer nos hypothèses sur leur fonctionnement et d'ainsi espérer mieux les comprendre. Nous pensons ici principalement aux oeuvres de Tom White [69] et [70] issues du projet basé sur les *machines à percevoir* (*perception engines*, notre traduction).

Nous pensons que les oeuvres d'art touchant à des concepts mathématiques et informatiques sont d'intérêt pour les communautés de recherche dans ces domaines, car elles permettent

de jeter un regard nouveau sur le travail de recherche, et de remettre en questions certaines hypothèses sous-jacentes à nos travaux.

Les liens entre l'art et l'IA sont un nouveau domaine des arts numériques, mais aussi une nouvelle source de beauté mathématique, sujet cher à la communauté mathématique, qui est à la source d'expositions variées et de conférences - pensons notamment à l'organisation *Bridges*¹⁹, dont la mission est la mise en valeur et l'exploration des liens entre arts et mathématiques.

5.3 Références d'actualité

Voici quelques références pour guider le lectorat dans ses explorations. Ces références sont un ajout à la présentation donnée lors du Congrès 2019 de l'AMQ.

Le numéro 124 (hiver 2020) de la revue *Espace Art Actuel* [22] consacrait un dossier à l'IA.

En vidéo, nous retrouvons le Conseil québécois des arts médiatiques pour une présentation sur les oeuvres d'art et l'IA, tenue au mois d'avril 2020 [13]. Notons aussi le Forum sur l'IA dans le milieu des arts médiatiques [14], du même organisme.

Le festival d'arts et de musique électronique MUTEK a tenu son Forum 2020, cette fois-ci sur la thématique de l'IA. Soulignons la conférence d'ouverture de Ruha Benjamin [3] : *Futur et race : réinventer les réglages par défaut de la technologie et de la société* [45]. Cette conférence est animée par Jason Lewis [33], artiste, chercheur et organisateur de Indigenous AI [10], organisme intéressé par les perspectives autochtones sur l'IA. Voir aussi le Forum MUTEK, édition 2019, pour une présentation de Jason Lewis et Suzanne Kite[31] intitulée *Making kin with the machines* [44].

Enfin, plus tard cette année aura lieu l'atelier NeurIPS pour la créativité et le design, édition 2020 [21].

5.4 Mot de la fin

Nous espérons que ce tour d'horizon des liens entre l'art, l'IA et les mathématiques ont pu éclairer votre lanterne et vous donner des pistes de réflexion sur la place des mathématiques dans la formation citoyenne. Nous vous invitons à consulter la bibliographie afin de poursuivre vos recherches.

19. Pour en savoir plus à ce sujet : <https://www.bridgesmathart.org>.

Références

- [1] Ackermann, W. et Hilbert, D. (1928). *Grundzüge der theoretischen Logik* (Principes de logique théorique). Springer-Verlag. pour la version originale, et <https://bookstore.ams.org/chel-69/> pour une traduction en anglais de la seconde édition de 1938.
- [2] al-Jazari, I. *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices : Kitáb fí ma'rifat al-hiyal al-handasiyya*. Traduction et annotations de Donald R. Hill. (1973).
- [3] Benjamin, R. Site personnel. <https://www.ruhabenjamin.com/> .
- [4] Bishop, Christopher M. (2009). *Pattern recognition and machine learning*. Springer.
- [5] Boole, G. (1847). *The mathematical analysis of logic*. Macmillan, Barclay, & Macmillan.
- [6] Carrière J.-Cl., Massonnie B. (1991). *La Bibliothèque d'Apollodore. Traduite, annotée et commentée*. Besançon : Université de Franche-Comté. Voir section 1.9.26, extrait 140. <https://doi.org/10.3406/ista.1991.2647> .
- [7] de Castella, T. (2012). BBC News Magazine, *Are you a Luddite ? - BBC News Magazine*. <https://www.bbc.com/news/magazine-17770171> .
- [8] Collectif. *AI Artists*. <https://aiartists.org> .
- [9] Collectif. *Timeline of AI art*. <https://aiartists.org/ai-timeline-art> .
- [10] Collectif, *Indigenous AI*. <https://www.indigenous-ai.net/people/> .
- [11] Computer History Museum. *Timeline of Computer History - Computer History Museum*, <https://www.computerhistory.org/timeline/computers/> .
- [12] Computer History Museum. *Topics*. <https://www.computerhistory.org/revolution/topics> .
- [13] Conseil Québécois des Arts Médiatiques. *Oeuvres d'art et intelligence artificielle*. <https://www.cqam.org/activites/oeuvres-et-ia/> .
- [14] Conseil Québécois des Arts Médiatiques. Forum, *L'intelligence artificielle dans le milieu des arts médiatiques*. <https://www.cqam.org/activites/lintelligence-artificielle-dans-le-milieu-des-arts-mediatiques-de-lindustrie-et-du-savoir-realisations-avancements-et-limites/> .
- [15] Copeland, J.B. (2019). The Stanford Encyclopedia of Philosophy, *The Church-Turing Thesis*. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2019/entries/church-turing/> .
- [16] Crawford, K. et Paglen, T. (2019). *Excavating AI : the politics of training sets for machine learning*. <https://www.excavating.ai> .
- [17] DeepArt, <https://deepart.io/page/about/> .
- [18] DeepMind (2017). *AlphaGo Zero : Starting from scratch*, <https://deepmind.com/blog/article/alphago-zero-starting-scratch> .

- [19] Elliott, L. Blog personnel. <https://medium.com/@elluba> .
- [20] Elliott, L. et al. (2019). *Machine Learning for Creativity and Design*, NeurIPS Workshop. <https://neurips2019creativity.github.io> .
- [21] Elliott, L. et al. (2020). *Machine Learning for Creativity and Design*, NeurIPS Workshop. <https://neurips2020creativity.github.io/> .
- [22] Espace art actuel. Numéro 124. <https://espaceartactuel.com/product/124/> .
- [23] Friend, S. *Perverse Affordances*. <https://isthisa.com/perverseaffordances> .
- [24] Frink, O. Jr. (1944). Bulletin of the American Mathematical Society, *The calculi of lambda-conversion - by Alonzo Church*. <https://www.ams.org/journals/bull/1944-50-03/S0002-9904-1944-08090-7/S0002-9904-1944-08090-7.pdf> .
- [25] Gatys, L.A., Ecker, A.S. et Bethge, M. (2015). arXiv, *A Neural Algorithm of Artistic Style*, <https://arxiv.org/abs/1508.06576> .
- [26] Gödel, K. (1931). Monatshefte für mathematik und physik, *Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I*. Vol. 38, num. 1. <https://doi.org/10.1007/BF01700692> .
- [27] Goodfellow, I. (2014). NeurIPS, *Generative Adversarial Nets*. <https://papers.nips.cc/paper/5423-generative-adversarial-nets.pdf> .
- [28] Goodfellow, I., Bengio, Y. et Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press. <http://www.deeplearningbook.org> .
- [29] Hunacek, M. (2018). MAA reviews, *The history fo the priority dispute between Newton and Leibniz*. <https://www.maa.org/press/maa-reviews/the-history-of-the-priority-di-pute-between-newton-and-leibniz> .
- [30] ImageNet database. <http://image-net.org> .
- [31] Kite, S. Site web de l'artiste. <http://kitekitekitekite.com/> .
- [32] Leibniz, G.W. (1703). *Explication de l'arithmétique binaire*, <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k3483p/f247> .
- [33] Lewis, J. Site web de l'artiste. <http://jasonlewis.org/> .
- [34] Lozano-Hemmer, R. (2000). *33 Questions per Minute*. http://www.lozano-hemmer.com/33_questions_per_minute.php .
- [35] Lozano-Hemmer, R. (2005). *Subtitled Public*. http://www.lozano-hemmer.com/subtitled_public.php .
- [36] Lozano-Hemmer, R. (2015). *Zoom Pavilion*. http://www.lozano-hemmer.com/zoom_pavilion.php .

- [37] MacKay, D. JC (2003). *Information theory, inference and learning algorithms*, Cambridge University Press.
- [38] Massachusetts Museum of Contemporary Art, *Sol LeWitt : a Wall Drawing retrospective*. <https://massmoca.org/sol-lewitt/> .
- [39] McCarthy, J., Minsky, M.L., Rochester, N. et Shannon, C.E. (1955). *A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence*. <http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html> .
- [40] McDonald, K. (2018). Blog personnel. *Dance x Machine Learning : first steps*, <https://medium.com/@kcimc/discrete-figures-7d9e9c275c47> .
- [41] Milner, D. (2019). It's Nice That, *How art holds AI to account*. <https://www.itsnicethat.com/features/how-art-holds-artificial-intelligence-to-account-digital-art-041219> .
- [42] Modern Art Museum of Fort Worth, Permanent Collection. *The Idea Becomes the Machine that Makes the Art*, <https://tinyurl.com/lewitt-themodern> .
- [43] Museum of Modern Art, *Sol LeWitt - art and artists*, <https://www.moma.org/artists/3528>
- [44] MUTEK Forum, édition 2019. *Making Kin with the Machines* présenté par J. Lewis et S. Kite. <https://mutek.org/fr/nouvelles/mutek-img-5-making-kin-with-the-machines-jason-edward-lewis-and-suzanne-kite> .
- [45] MUTEK Forum, édition 2020. <https://montreal.mutek.org/fr/programmation/forum> .
- [46] Nautilus (2019). *Chapter one - Art*. Numéro 79. <http://nautil.us/issue/79/catalysts> .
- [47] Needham, J. (1956). *Science and civilization in China : Volume 2*. Cambridge University Press.
- [48] Offert, F. (2019). The Gradient Pub, *The Past, present and future of AI art*, <https://thegradient.pub/the-past-present-and-future-of-ai-art/> .
- [49] Onuoha, M. Site web de l'artiste. <http://mimionuoha.com/> .
- [50] Onuoha, M. (2015). *Pathways*. <http://mimionuoha.com/pathways>
- [51] Onuoha, M. (2017). *Missing Datasets*. <https://tinyurl.com/onuoha-missing-datasets> .
- [52] OpenAI. *OpenAI Gym*. <https://gym.openai.com> .
- [53] Ostrow, S. (2003). Bomb Magazine, *Sol LeWitt by Saul Ostrow*. <https://bombmagazine.org/articles/sol-lewitt/>.
- [54] Ovide. *Métamorphoses*. Disponible sur *Biblioteca Classica Selecta* de l'Université Catholique de Louvain : <http://bcs.fltr.ucl.ac.be/METAM/Met10/M10-143-297.htm> .

- [55] Pasquinelli, M. (2019). e-flux. *Three thousand years of algorithmic rituals : the emergence of AI from the computation of space*, 101. <https://www.e-flux.com/journal/101/273221/three-thousand-years-of-algorithmic-rituals-the-emergence-of-ai-from-the-computation-of-space/> .
- [56] Penha, R. et Carvalhais, M. aeon, *If machines want to make art, will humans understand it ?*, <https://aeon.co/ideas/if-machines-want-to-make-art-will-humans-understand-it> .
- [57] Ridler, A. (2019). *Bloemenveiling*. <http://annaridler.com/bloemenveiling> .
- [58] Russell, S. et Norvig, P. (2010). *Artificial intelligence : a modern approach* (trad. française). Pearson Education, 3^e édition.
- [59] Samuel, A.L. (1959). IBM Journal of Research and Development, *Some studies in machine learning using the game of checkers*. Vol. 3, num 3. <https://dl.acm.org/doi/10.1147/rd.33.0210> .
- [60] Shane, J. *AI Weirdness*. <https://aiweirdness.com> .
- [61] Shannon, C. E. (1948). *A mathematical theory of communication*. Bell System Technical Journal, vol. 27 num. 3, pages 379-423. Wiley Online Library.
- [62] Shannon, C.E. (1950). Scientific American, *A Chess-Playing Machine*. <http://www.jstor.org/stable/24967381> .
- [63] Solomonoff, R. et al. *The Dartmouth AI archives*. <http://raysolomonoff.com/dartmouth/> .
- [64] Sonar, T. (2018). *The history of the priority dispute between Newton and Leibniz : mathematics in history and culture*, Birkhäuser. ISBN : 978-3-319-72563-5.
- [65] Turing, A.M. (1937). Proceedings of the London Mathematical Society, *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem*.
- [66] Turing, A.M. (1950). Mind, *Computing Machinery and Intelligence*. <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433> .
- [67] Tutoriel TensorFlow. *Neural style transfer*, https://www.tensorflow.org/tutorials/generative/style_transfer .
- [68] Vincent, J. (2018). The Verge, *What algorithmic art can teach us about artificial intelligence*, <https://www.theverge.com/2018/8/21/17761424/ai-algorithm-art-machine-vision-perception-tom-white-treachery-imagenet> .
- [69] White, T. *About*. <https://drib.net/about> .
- [70] White, T. (2018). Blog personnel, *Perception Engines*. <https://medium.com/artists-and-machine-intelligence/perception-engines-8a46bc598d57> .