

Université de Paris 8

Master Création numérique

Parcours Arts et Technologies de l'Image Virtuelle

Paysages animés, dynamiques et évolutifs : les
algorithmes de vie artificielles au service de la
création artistique

Isadora TELES DE CASTRO E COSTA



Mémoire de Master 2, 2016 - 2017

REMERCIEMENTS

à Alexandre Gomez pour son soutien et pour sa bonne humeur,

à Monique et Daniel Gomez pour la relecture,

à mes parents et à ma soeur pour leur confiance et leur encouragement.

RÉSUMÉ

Dans ce mémoire je raconte mon processus d'investigation théorique et pratique de concepts scientifiques en rapport avec la simulation de vie et d'intelligence sur ordinateur, connus par le terme de Vie Artificielle. Le but de l'étude étant de trouver des inspirations et des solutions techniques pour la création de paysages qui se développent de façon autonome, mais qui se transforment et s'adaptent sous influence de l'artiste ou d'un autre participant. Lors du processus de recherche et création, le langage du paysage est utilisé comme une forme d'expression familière des relations poétiques possibles entre l'homme et son environnement naturel. La Vie Artificielle à son tour, se révèle un domaine passionnant et riche en moyens d'expérimentation, de compréhension et de reproduction de phénomènes naturels expressifs. Au final, un système d'entités dynamiques et relationnelles est proposée comme un outil (ou substrat) interactif dessinateur d'images en 3 dimensions.

ABSTRACT

In this dissertation I describe my process of theoretical and practical investigation of scientific concepts related to the simulation of life and computer intelligence, known by the term Artificial Life. The aim of the study is to find inspiration and technical solutions for the creation of landscapes that develop autonomously but that adapt and are transformed under the influence of the artist's or another participant's gesture. In this process of research and creation, landscape language is used as a familiar expression of the possible poetic relationships between man and his natural environment. Artificial Life in turn, reveals itself as an exciting and rich field in means of experimentation, understanding and reproduction of expressive natural phenomena. In the end, a system of dynamic and relational entities is proposed as an interactive drawing tool (or drawing substrate) for creating images in 3 dimensions.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction7
1. Paysages9
1.1 Paysages picturaux... ..	10
1.1.1 Turner	11
1.1.2 L'école de Barbizon	12
1.1.3 Odilon Redon	13
1.1.4 Les symbolistes..	16
1.1.5 Les impressionnistes et les néo-impressionnistes..	17
1.1.6 Expérimentation : « <i>Paysage de mémoire</i> »	19
1.1.7 Expérimentation : « <i>L'escalier et l'île lointaine</i> »	21
1.1.8 Vers le paysage virtuel	22
1.2 Paysages virtuels... ..	24
1.2.1 Constructions des paysages virtuels : paysages mathématiques.	24
1.2.2 Expérimentation : paysages pour « <i>Artefact</i> »	29
1.2.3 Déconstruction du paysage réel : paysages <i>glitchés</i> et scannés... ..	31
1.2.4 Expérimentations : les nuages de points (ou « <i>Point Clouds</i> ») et le vidéo-clip « <i>Daniel Darc</i> »	36
1.2.5 Construction de paysages en temps réel : <i>Shaders</i> et paysages génératifs en temps réel	37
1.2.6 Expérimentation : « <i>Contes Électroniques</i> »	41
1.2.7 Immersion dans le paysage: paysages à 360°	43
1.2.8 Expérimentations : « <i>Parallélogrammes</i> » et « <i>F</i> »	46
1.2.9 Vers les écosystèmes..	49
1.3 Paysages émergents.	50
1.3.1 Les non-paysages de la vie artificielle... ..	52
1.3.2 Expérimentations : « <i>Silky Way</i> »	55
1.3.3 La possibilité d'un paysage : les écosystèmes virtuels	56
1.3.4 Les paysages virtuels émergents... ..	58
1.3.5 Vers une méthodologie	60
2. Éléments d'un Paysage	62
2.1 Agents mathématiques, dynamiques et physiques..	63
2.1.1 Le contrôle de l'aléatoire... ..	63

2.1.2	Expérimentations..	64
2.1.3	Physique, trigonométrie et systèmes simples.	71
2.1.4	Expérimentations..	71
2.2	Formes et systèmes vers la complexité..	78
2.2.1	Agents autonomes	79
2.2.2	Expérimentations..	79
2.2.3	Fractales..	85
2.2.4	Expérimentations..	85
2.2.5	L-Systèmes..	87
1.1.1	Expérimentations..	87
1.1.2	Géométrie fondée sur un dessin..	88
2.2.6	Expérimentations..	89
2.3	Organisation des groupes dans une composition de paysage	91
2.3.1	Cellular Automata	91
2.3.2	Expérimentations..	92
2.4	Dimension temporelle du paysage : interaction, adaptation et évolution	94
2.4.1	Algorithmes génétiques	94
2.4.2	Expérimentations..	96
2.4.3	Conclusion vers une proposition de mise en œuvre.	99
3.	Dessinateurs de paysage.	100
3.1	« Aliaj Angelus » : paysage modifié par la météorologie...	101
3.1.1	Objectif et concept	101
3.1.2	Étapes et problématiques de réalisation.	102
3.1.3	Résultat et innovations.	117
3.2	Autres expérimentations : dessins et paysages émergents..	119
3.2.1	Conversations et systèmes complexes	119
3.2.2	Dessinateurs de profondeur.	121
3.2.3	Dessinateurs de portraits..	124
	Conclusion...	127
	Bibliographie	128
	Webographie...	130
	Videographie	133

Émissions Radio	134
Table des illustrations.135
AnnexesI

INTRODUCTION

Ce mémoire présente la description et l'analyse de mon processus de création et de recherche tel qu'il s'est déroulé au cours de l'année de master 2 mais qui est le fruit de plusieurs années de réflexions et d'expérimentations plastiques et techniques. Les domaines explorés au cours de ces années étaient divers mais celui qui est le point de départ de ma démarche est **le domaine de l'art génératif interactif**, particulièrement en relation avec la computation graphique et avec l'animation.

Je m'intéresse au processus artistique génératif pour la notion de partage qu'il induit, pour le fait que l'artiste concède à l'outil de création le contrôle du résultat final, concession accordée par le biais de systèmes, règles ou instructions données à un système (Galanter, 2003). Cette notion de partage de création m'intéresse pour son potentiel de surprise et de dialogue dans le processus artistique, en le transformant en expérience conversationnelle de construction de relations en temps-réel. L'œuvre artistique n'étant pas forcément un résultat sensoriel spécifique mais un processus, une performance, la dimension temporelle de la construction d'une esthétique relationnelle (Bourriaud, 1998). Des expérimentations portant sur la création de systèmes programmés autonomes, la génération de comportements et de relations et la simulation de phénomènes naturels m'ont amenée à m'intéresser au domaine scientifique de la vie artificielle. Je partais du postulat, tout à fait personnel, que l'acte artistique est lié à la quête scientifique de la vie artificielle, qui consisterait à donner vie à la matière inanimée, à simuler le vivant, à comprendre l'émergence de la volonté, de la pulsion, de la reproduction. Allier l'art et les concepts de vie artificielle permet d'ajouter à cette quête de vie un sens poétique, une âme, un discours.

L'hybridation entre art et science, déjà suggérée et défendue par **Edmond Couchot** (Couchot, 1996) et **C. P. Snow** (Snow, 2013), voit son intérêt confirmé par **Philip Galanter** quand il définit l'art génératif en incluant l'émergence de phénomènes, par le même principe que celui étudié dans la science de la complexité (dont la météorologie et l'économie). Ces relations entre art, créativité et sciences de la vie artificielle (biologie, botanique, informatique) font jaillir un pont entre l'artiste et le scientifique, tous deux incompréhensibles et incompris : et si la science et l'art étaient finalement intimement connectés, intimement liés ? Les recherches scientifiques et les processus artistiques emprunteraient-ils une voie commune dans le but partagé de créer de la vie ? Qu'est-ce que la vie ? Qu'est-ce que l'art ?

L'introduction de la vie artificielle, domaine motivant et source de plusieurs problématiques, dans mon processus de recherche m'a amenée tout naturellement à retenir le paysage comme forme d'expression : c'est un milieu virtuel expressif qui accueille des formes de vie en interaction. La vie artificielle apporte d'autres signifiants à un écosystème virtuel.

La représentation du paysage, qui au cours de l'histoire a porté nombre de significations et de projections de subjectivité sur la nature et sur l'environnement, ouvre un espace d'expérimentation poétique et relationnelle qui permet, par le prisme de la sensibilité artistique, d'explorer les mystères et la complexité d'un espace où tout est actuel et en échange constant. Si la complexité, phénomène naturel, peut être appréhendée par la science, pourquoi ne pourrait-elle pas l'être par le processus artistique ? Non seulement comme métaphore de la vie naturelle mais comme phénomène original et intrinsèque à un environnement virtuel, comme l'ont suggéré **Jon Von Newmann** et **Christopher Langdon** (Heudin, 2008).

Cette recherche constitue les prémices d'une réflexion portant sur **comment** et **pourquoi** (par quelles motivations) cet environnement virtuel en forme de paysage peut être expressif et artistique, comment et pourquoi il peut être le reflet des connaissances humaines contemporaines et sur les effets qu'il est susceptible de produire en termes de conception artistique, de curiosité et de motivation créatrice.

Le parcours réflexif du présent mémoire commence par la présentation du paysage au sens pictural du terme, pour s'approcher de quelques formes de représentation contemporaine en lien avec la création numérique. A la fin du premier chapitre, la vie artificielle et la représentation du paysage seront mis en tension. Cette tension sera ensuite progressivement expérimentée dans le deuxième chapitre, dans une tentative de décrypter les éléments possibles d'un paysage virtuel dynamique et évolutif. Enfin, sous la forme d'un projet d'installation interactive, le sujet sera mis en œuvre et concrétisé. La discussion sur le projet final de mon parcours en art et technologies de l'image virtuelle sera présentée dans le troisième chapitre.

1. PAYSAGES

En préambule, il convient de préciser la définition du mot « paysage » qui est l'un des axes retenus pour dérouler les processus mis en œuvre lors mes recherches créatives. Ce terme et les concepts qui y sont associés seront largement développés plus loin, mais il me semble important de délivrer dès à présent mon interprétation personnelle afin d'éclairer le raisonnement exposé.

La définition de « paysage » retenue dans cette recherche est proche de celle décrite dans le dictionnaire Larousse :

« Peinture, gravure ou dessin dont le sujet principal est la représentation d'un site naturel, rural ou urbain. » (Larousse, s. d.)

Proche mais non équivalente car en transposant ce mot dans l'univers de ma pratique artistique, je propose d'élargir cette définition à d'autres sources littéraires et d'y ajouter les domaines du paysage virtuel et de la représentation des écosystèmes virtuels.

Le paysage est à la fois une cause et une conséquence de ma recherche et de mon expérimentation autour du sujet de la vie artificielle. Une cause parce que, pour transposer une quête artistique personnelle en sujet de dissertation, j'avais en tête un projet sur la réinterprétation d'une certaine peinture de paysage en utilisant la computation graphique comme médium et les concepts de la vie artificielle comme méthode. Une conséquence car, grâce à ce projet et aux réflexions qu'il a déclenchées, j'ai pu élargir une réflexion, au départ fondée sur une unique peinture, au domaine plus général du paysage incluant ses motivations historiques et ses significations philosophiques et artistiques.

Cette ouverture conceptuelle sur la représentation du paysage me permet de développer une interprétation philosophique de la méthode scientifique de la **vie artificielle** en établissant des ponts entre ces deux domaines et contextes de recherche. La vie artificielle est apparue initialement dans la recherche à titre de méthode. Mais elle a acquis une fonction philosophique au fil de mes travaux, comme domaine de connaissance et de création artistique mis en relation avec celui du paysage. En croisant ces deux domaines de connaissance pour définir mon contexte de recherche et en approfondissant la compréhension que j'en avais, je poursuivais l'objectif d'étayer une intuition personnelle de l'existence d'un lien entre les deux, conceptuellement et artistiquement.

1.1 PAYSAGES PICTURAUX

De Turner aux Néo-Impressionnistes

Le paysage dans l'art est défini comme un verbe et un nom dans le dictionnaire d'anglais d'Oxford. Une interprétation à cette double définition est la dimension passive et active que ce mot peut emprunter (Oxford Dictionaries, s. d.). Le paysage est quelque chose qui est construit et modifiable, représenté ou imaginé. Mais c'est aussi une chose qui est observée, qui est, qui existe. Les types de représentation d'un paysage et la charge symbolique et métaphorique qu'il porte ont évolué au cours de l'histoire, tout comme le paysage en lui-même. L'histoire de la peinture de paysage montre comment cette relation entre le sujet, objet de regard, et le verbe, action sur l'environnement, a été développée sous un regard sensible, critique, imaginaire et expressif. L'action sur l'environnement peut prendre diverses formes mais, dans le cas de la peinture de paysage, son interprétation artistique par sa traduction esthétique est un type de modification imaginaire qui m'intéresse. C'est une façon de se positionner et de s'insérer dans l'environnement, d'être affecté par lui et de répondre à cette interaction.



Illustration n° 1. William Turner, «Lumière et couleur (la théorie de Goethe) - Le lendemain du déluge, Moïse écrivant le livre de la genèse», (1843), Tate Britain, Londres

1.1.1 TURNER

Parmi les différentes attitudes et positionnements artistiques sous le format de paysage dans la peinture, il y a deux modes constants et fondamentaux de représentation (Encyclopedia.com, 2017) : le classique et le romantique. Le type classique, caractérisé par un perfectionnisme technique, consiste à exprimer la nature en l'organisant et en l'améliorant. Le type romantique se distingue par la représentation de la dimension sauvage de la nature comme évocation de son mystère.

Joseph Mallord William Turner, dit **William Turner**, est un peintre romantique qui s'est exprimé dans le contexte d'un environnement en pleine mutation avec l'intensification de l'industrialisation et de l'urbanisation. Il est connu pour ses paysages dramatiques avec des références historiques et littéraires. Ses œuvres, comme celles d'autres peintres romantiques, laissent transparaître l'influence de la science, alors en pleine expansion, et les effets visuels directs ou indirects de l'introduction du moteur thermique dans le quotidien de son époque (Couchot & Hillaire, 2003).

Le tableau « *Lumière et couleur (théorie de Goethe)* » (cf. ill. 1) daté de 1843 illustre l'intérêt porté par Turner à la science. Il porte les empreintes visuelles de la révolution industrielle dans sa perception de l'environnement. Cette peinture ne reproduit pas la nature mais plutôt une volonté de la dissoudre dans un vertige lumineux (De Loisy & Adam-Couralet, 2014). La scène représentée est celle de Moïse, personnage biblique, écrivant le livre de la Genèse. Mais elle est montrée de façon à exalter l'imaginaire des phénomènes naturels du moment : la lumière éblouissante et le chaos organisé des informations visuelles lumineuses. La composition de l'image en format circulaire montre une stratégie technique de représentation présente dans plusieurs œuvres de Turner. Cette stratégie permet de symboliser une certaine instabilité, une méfiance ou même un questionnement par rapport à la structure d'organisation du paysage et de ses éléments. La manipulation de la perspective vers une idée de trouble de vision et de fusion des éléments est une façon de transmettre l'idée de manque de contrôle alors même que cette technique est extrêmement maîtrisée par l'artiste.

« *Une peinture du rien mais très ressemblante* » selon **John Ruskin**, critique d'art et défenseur de Turner au XIXe siècle (De Loisy & Adam-Couralet, 2014). Ce paradoxe entre ressemblance et dissonance avec la nature réside dans la conciliation entre l'utilisation naturaliste de la couleur et son utilisation spiritualiste dans le tableau. On reconnaît comme typique de Turner l'association de la représentation exacte des phénomènes lumineux ainsi que les phénomènes cinétiques et énergétiques de la nature avec la représentation symbolique et spirituelle de cette même nature (De Loisy & Adam-Couralet, 2014). Cette collaboration poétique entre l'interprétation naturaliste et l'interprétation spirituelle de la nature (entre l'organisation et le chaos) et **l'influence des concepts scientifiques et de l'industrialisation sur**

la sensibilité artistique seront deux thématiques importantes dans mon analyse de la relation entre la peinture de paysage et la représentation numérique de la nature.

1.1.2 L'ÉCOLE DE BARBIZON

En contraste avec Turner et les romantiques, se rapprochant du courant classique de représentation du paysage par la précision du geste et la figuration des détails, les peintres de **l'école de Barbizon** furent la première génération d'artistes français à rejeter les scènes italiennes idéalistes en faveur des scènes naturalistes d'observation de leur environnement natif (Amory, 2007). Dans la quête du pouvoir métaphorique du paysage et d'une « vérité » picturale, ils choisirent comme sujet la ruralité, menacée par l'urbanisation (Amory, 2007).

Les scènes illustrées par ce courant de peinture ne racontent pas des moments historiques ou littéraires et, contrairement aux sujets de Turner, elles n'expriment ni une aventure ni un éblouissement ni une soumission de l'artiste devant une grandeur ou une divinité supérieure et plus mystérieuse que lui. Les paysages de Barbizon témoignent de moments simples ou mondains, mais extrêmement poétiques dans l'acte même d'être élevés au niveau de paysage. Il s'agit de ce genre de peinture qui montrait justement des scènes vues comme mémorables, admirables, privilégiées ou tout simplement en dehors du quotidien (cf. ill. 2).



Illustration n° 2. Jean-François Millet, « Des glaneuses » dit aussi « Les glaneuses », (1857), Musée d'Orsay Paris

L'aspect de témoignage, de vérité et de représentation de cette nature à portée de l'homme est important dans la réflexion sur le rapport entre l'existence humaine et la nature en tant qu'espace vaste et complexe. Représenter le quotidien de l'homme comme faisant partie intégrante de cette complexité est une façon d'assumer la grandiloquence et l'infinité de la nature. La peinture de Barbizon pose l'homme comme un composant du paysage en le travaillant et le traite comme une **partie de sa dynamique**. Cette approche contraste avec celle de Turner qui représente une **nature dominante et intimidante**.

1.1.3 ODILON REDON

Les paysages constituent la part la plus intime et la moins connue de l'œuvre d'**Odilon Redon** (Barthélémy *et al.*, 2016). Il justifie son intérêt pour la nature par son amour des formes, des plus petites et discrètes formes des fleurs à celles plus majestueuses des montagnes (cf. ill. 3, 4).

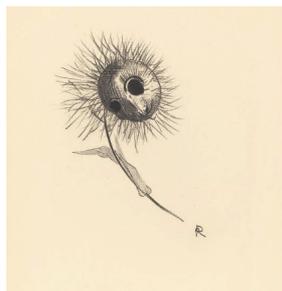


Illustration n° 3. Odilon Redon, «Cul-de-Lampe», (1890), National Gallery of Art, Washington DC



Illustration n° 4. Odilon Redon, «La Gue (The Ford)», (1865), National Gallery of Art, Washington DC

« Toutes choses pour leur caractère en soi, plus que des ensembles. Je tressaille aussi profondément au mystère qui se dégage des solitudes. » (Redon, 1989)

Odilon Redon, A soi-même, 1867-1915

Odilon Redon s'intéressait au paysage d'une manière particulière. Il définit des niveaux de complexité dans la nature en partant de la simplicité solitaire de chacun des éléments naturels jusqu'à un ensemble dégageant du mystère. Il évoque une spiritualité émergente de l'ensemble des éléments naturels, des solitudes discernables à l'œil et d'une indiscernable relation ou présence dans la nature. Ce mystère était la source d'inspiration de **Redon** (Barthélémy *et al.*, 2016). Ses paysages sont traversés par d'oniriques visions puisées aux sources littéraires, mythiques et bibliques car il croyait à l'esprit des choses qui fait d'une certaine façon partie de l'ensemble visuel ou, du moins, de la représentation de ce paysage.

« On dirait que, dans l'air celtique, il s'est accumulé un long dépôt de l'âme humaine, pleine de jours et de temps, comme un esprit des choses, de légende aussi. » (Redon, 1989)

Odilon Redon, A soi-même, 1867-1915

Chez **Odilon Redon**, la nature est représentée en lien avec la spiritualité humaine de façon fantastique et onirique. Le motif de l'arbre, très fréquent dans son œuvre, est représenté selon plusieurs approches (cf. ill. 5-7). L'arbre apparaît soit dessiné isolément, sous la forme de croquis, ce qui montre l'intérêt porté à son apparence, soit mis en scène dans la composition de l'image. Sa position par rapport à la végétation et aux personnages montre qu'il est traité lui-

même comme un personnage, parfois même en dialogue avec les autres éléments visuels (cf. ill. 8). L'exploration de techniques et de compositions traduisent l'importance accordée à l'arbre, élément qui transcende son rôle de végétation. Il est considéré, dans la composition du paysage, comme une entité active et héroïque, parfois fantastique, parfois très réaliste. Cette approche laisse entrevoir, chez **Redon**, des interrogations esthétiques et une curiosité par rapport à la nature (Barthélémy *et al.*, 2016).

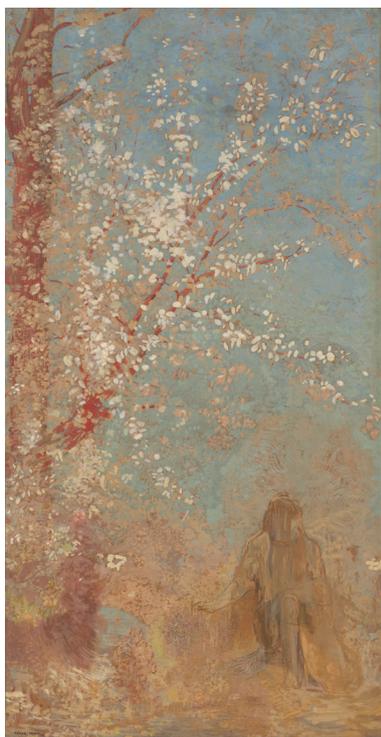


Illustration n° 5. Odilon Redon, «Figure under blossoming tree», (1904/1905), Van Gogh Museum, Amsterdam

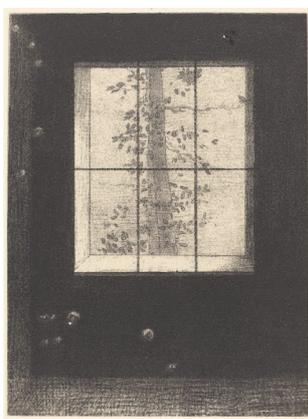


Illustration n° 6. Odilon Redon, «Le Jour», (1891), National Gallery of Art, Washington DC



Illustration n° 7. Odilon Redon, «Arbre et taillis», (1840-1916), Musée d'Orsay, conservé au musée du Louvre, Paris

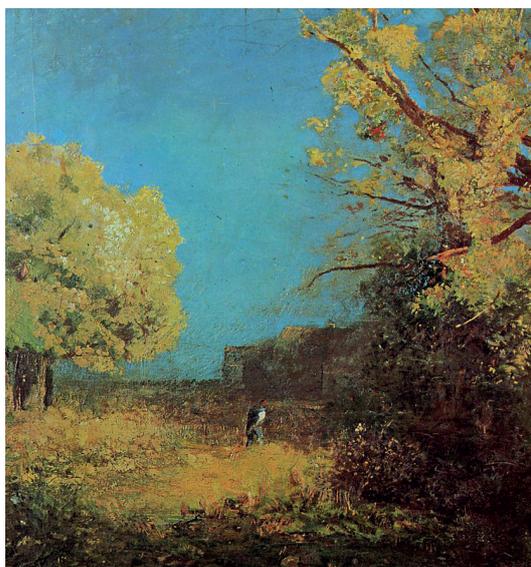


Illustration n° 8. Odilon Redon, «Le chemin à Peyrelebade», (entre 1840 et 196), Musée d'Orsay, Paris

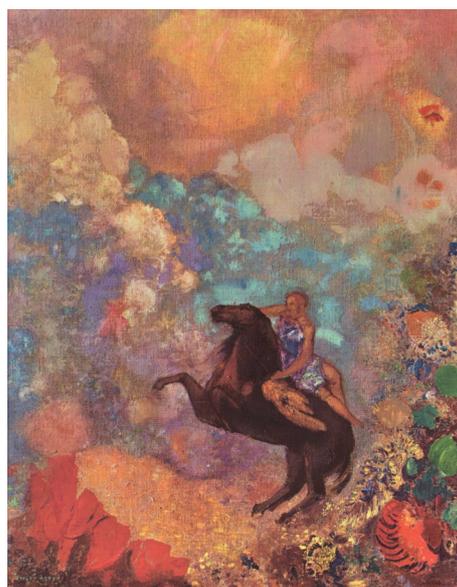


Illustration n° 9. Odilon Redon, «Muse on Pegasus», (1900), collection privée

Le jeu des perspectives brusques et l'aspiration vers l'infini des paysages de Redon nous mènent à des impasses et à des pièges visuels (cf. ill. 9), dans une tension irrésolue entre l'espace naturel et celui de la feuille et du tableau (Barthélémy *et al.*, 2016). Cette impasse et le parti pris poétique et artistique d'un détournement (ou pas) de la perspective pour construire un paysage seront discutés ultérieurement, lorsque nous les transposerons à **l'étude de l'espace tridimensionnel virtuel**. Il est toutefois d'ores et déjà précisé que le défi de la perspective a, dans le domaine des images numériques, d'autres origines et d'autres répercussions techniques et poétiques.

Le point de vue d'**Odilon Redon** sur la nature apporte un éclairage très intéressant à la discussion. En assumant une spiritualité individuelle de ses éléments, considérés comme des **entités vivantes**, et en exprimant une **dynamique mystérieuse** et signifiante de l'ensemble de ces éléments dans l'environnement, **Redon** montre deux niveaux de complexité sur le plan artistique : celui de l'arbre en lui-même ou des fleurs prises **individuellement** et celui de la végétation prise dans son **ensemble**.

Les découvertes scientifiques de l'époque ont aussi influencé les travaux d'Odilon **Redon**, qui a créé une série d'illustrations autour de la thématique de l'évolution et de l'origine des espèces (cf. ill. 10 - 11). Son interprétation de cette théorie scientifique, **exploitant le potentiel imaginaire que la science peut évoquer**, était chargée de fantaisie et d'imagination,. Cette approche va m'inspirer dans la quête des relations entre les différentes couches d'information d'un écosystème virtuel qui permettent de représenter un paysage. Ainsi, cette quête s'appuie non seulement sur un principe **scientifique** des modes de représentation de la nature mais également sur un concept **artistique** et **philosophique**, à la manière d'**Odilon Redon**. (voir annexes [1])



Illustration n° 10. Odilon Redon, «Couverture-Frontière de l'Album Les Origines», (date d'édition 1883), Bibliothèque nationale de France

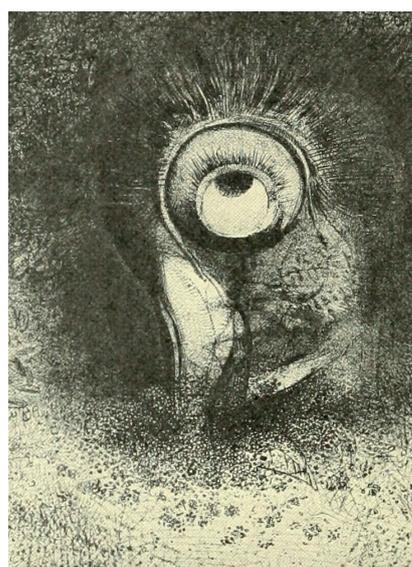


Illustration n° 11. Odilon Redon, «Il y eut peut-être une vision première essayée dans la fleur» extrait de: Les Origines, (date d'édition 1883), Bibliothèque nationale de France

1.1.4 LES SYMBOLISTES

« La science et le spiritisme se rejoignent quand il s'agit d'appréhender l'Univers, autre paysage mystique. Influencées par des vulgarisations scientifiques comme le fut, en Europe, l'astronome et écrivain Camille Flammarion, les peintres explorèrent l'espace en tant que lieu de l'imaginaire universel. » (Cogeval et al., 2017)

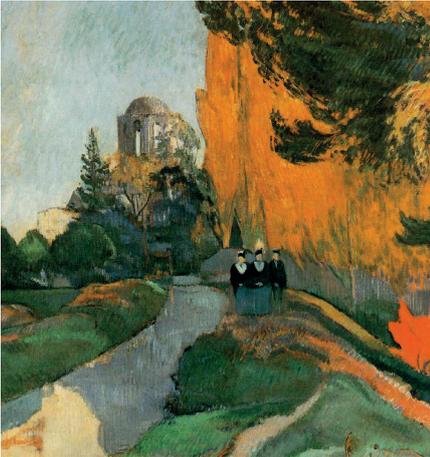


Illustration n° 12. Paul Gauguin, «Les Alysamps», (1888), Musée d'Orsay



Illustration n° 13. Maurice Denis, «Paysage aux arbres verts» ou « Les Hêtres de Kerduel », (1893), Musée d'Orsay, Paris

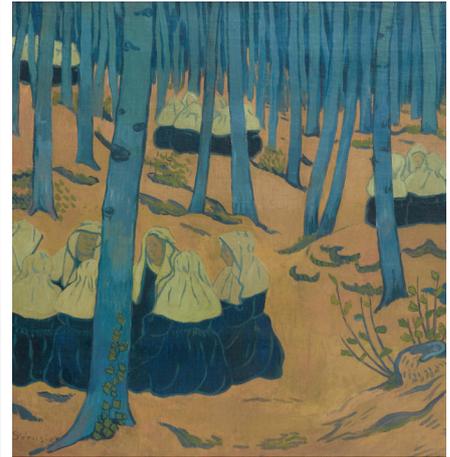


Illustration n° 14. Paul Sérusier, «Bretonnes, réunion dans le bois sacré», (1891-93), collection particulière Paris

Les paysages métaphoriques symbolistes accueillirent un positionnement esthétique, spirituel, questionneur et onirique par rapport à la science et à ce qu'elle a systématisé à partir de la nature. Les thématiques du bois sacré adoptées par **Paul Gauguin**, **Maurice Denis** et **Paul Sérusier** (cf. ill. 12 - 14) et celles du Cosmos sont abordées de façon à pouvoir déduire à partir de l'interprétation de la nature un univers ou un système à part entière : cette approche intéressait les artistes symbolistes en ce qu'elle constituait un moteur imaginaire intrigant. L'aspect insaisissable du fonctionnement de la nature est transcrit dans le paysage symboliste avec sa part de mystère voire de mysticisme, comme une forme de réaction au culte de la science et un choix assumé de susciter de l'émotion (Cogeval *et al.*, 2017). Un trait qui privilégiait l'imagination au détriment de la compréhension, à contre-courant de la domination de la logique de la nature et de la vie que la science essayait de décrypter. (voir annexe [2])

Dans le contexte historique du discours symboliste, et encore aujourd'hui, l'interprétation fantastique et onirique de la nature assumée par l'artiste est un moyen de réagir à la tendance scientifique visant à rationaliser cette nature. Une des problématiques posées par la création d'un paysage virtuel autonome et génératif est justement celle de la place de l'imaginaire, de l'onirique et du fantastique dans le processus de création. **Serait-il question de programmer un écosystème vivant en intégrant une dimension onirique suggérée par la nature ?** Est-il envisageable que des algorithmes de vie artificielle accordent une place, un

espace au mystère, à la spiritualité inhérente à la nature ? Le mystique peut-il faire partie d'une boucle de rétroaction d'un système virtuel ? A moins qu'il ne soit présent dans le résultat visuel comme produit émergent...

1.1.5 LES IMPRESSIONNISTES ET LES NÉO-IMPRESSIONNISTES

Le paysage est modifié par le temps, les saisons, l'heure du jour mais aussi par la dynamique et l'interaction entre les éléments qui le composent. La perception éphémère ou l'impression causée par cette suite infinie de moments dans le paysage était un sujet d'intérêt pour les peintres impressionnistes. L'abandon des techniques traditionnelles de perspective, de clair-obscur et de modélisation nourrissait l'envie de capturer l'expérience le plus directement possible, pour retenir l'apparence de la spontanéité (Auricchio, 2004). La peinture de paysage était donc une expérience à la fois analytique et sensorielle. La spontanéité traitée par les peintres impressionnistes montre leur questionnement sur la représentation de la nature et laisse à penser qu'ils se permettaient **d'expérimenter différentes pistes traduisant visuellement ce questionnement**. Il n'y a pas une façon idéale, définitive ou correcte de peindre un paysage, il y a en la matière une grande liberté acquise au cours de l'histoire de la peinture. Le paysage devient espace d'étude, d'expérimentation technique approfondie (Auricchio, 2004). (cf. ill. 15 - 17)



Illustration n° 15. Claude Monet, «Les Trois Arbres, été», (1891), The National Museum of Western Art, Tokyo



Illustration n° 16. Claude Monet, «Effet de vent, série des peupliers», (1891), Musée d'Orsay, Paris



Illustration n° 17. Claude Monet, «Les Peupliers, trois arbres roses, automne», (1891), Philadelphia Museum of Art, Philadelphie

En étant une composition qui vise à montrer une unité par rapport à l'étendue et à la variété d'informations et de vie disponibles dans le monde réel, le paysage naturel était traité comme un ensemble d'éléments qui interagissent entre eux et qui se modifient au cours du temps dans une dynamique complexe. Les impressionnistes ont représenté ces changements et cette dynamique, cette fluidité. Ils ont pris la matérialité du paysage pour la transposer sur la toile. Mais cette propriété matérielle du paysage transposée en abondance par le peintre n'exclut

pas l'intérêt porté aux détails de la nature. Détails qui ont aussi une matérialité propre et qui, par conséquent, ont une valeur dans la composition.

La matérialité s'est développée encore dans le traitement néo-impressionniste de la nature. Renonçant à la spontanéité impressionniste, les néo-impressionnistes choisirent une technique mesurée, influencée par la science et par **l'étude de l'optique** (mélange optique) méthode adoptée par **Georges Seurat** par exemple, attitude importante pour l'indépendance picturale de la couleur et de la forme (Amory, 2004). La technique du pointillisme va stimuler les études colorimétriques néo-impressionnistes et inventer une nouvelle façon de construire une image. Cette technique est une conséquence d'une progressive fragmentation de la touche afin d'évoquer les différents jeux de lumière sur les motifs et particulièrement sur l'eau (Magazine du Grand Palais, 2013).

L'importance des œuvres impressionnistes dans cette recherche réside dans **leur expression des phénomènes naturels et leurs dynamiques**, avec le souci de la spontanéité du geste de l'artiste. C'est donc dans l'illustration des phénomènes éphémères et de la représentation de la temporalité, avec ses possibilités expressives et ses contraintes, que je vais puiser une partie de mes interrogations artistiques par rapport à la création d'un paysage virtuel évolutif.

La notion aboutie d'un ensemble qui forme un tout, de la construction de l'image à travers sa fragmentation, est importante car elle est présente conceptuellement et techniquement dans le processus contemporain de création du paysage. Les nuages de points dans le projet « *In The Eyes of the Animal* » (Marshmallow Laser Feast (MLF), s. d.) est un exemple qui sera détaillé ci-après (cf. ill. 18).

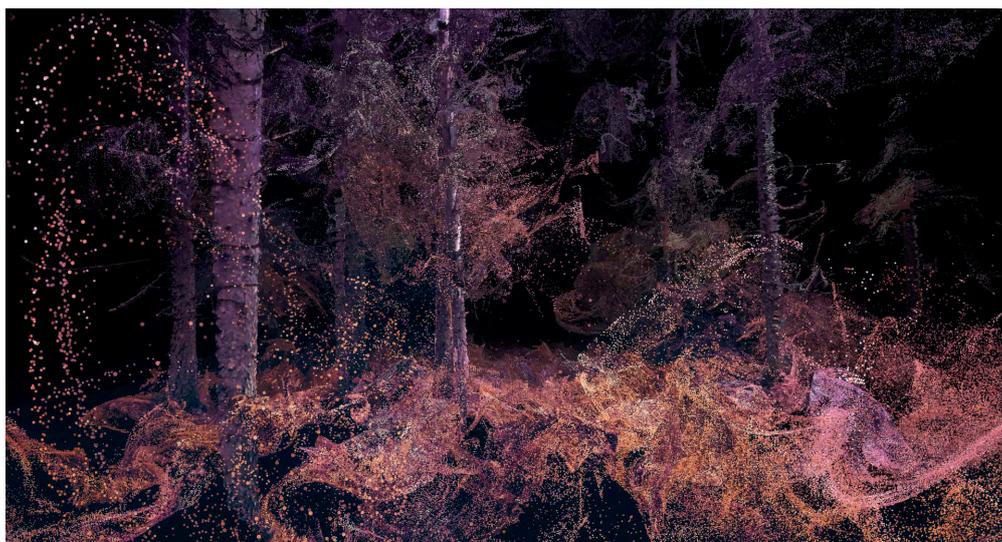


Illustration n° 18. MLF, «In The Eyes of The Animal», (2015)

La fragmentation est importante aussi par sa présence dans le concept d'environnement ou de système complexe : un environnement peut être fragmenté en plusieurs composants, individus ou éléments indépendants et autonomes (plantes, insectes, humains, arbres), mais l'environnement pris dans sa globalité transcende la somme de ses parties dans le sens où l'assemblage des fragments produit des formes, modèles ou propriétés indépendamment du mécanisme central de contrôle qui crée ces fragments (Galanter, 2008). Une peinture de **Seurat** composée d'un groupe de couleurs différenciables et représentatives du contact de la lumière avec les surfaces perceptibles par le peintre en est une bonne illustration (cf. ill. 19 - 20). Ce résultat est un « moment », un motif, une sensation optique qui inspire l'artiste et l'invite à lui donner une matérialité picturale qui traduit son interprétation. Une interprétation qui entre dans la dynamique de motif émergent de ce système complexe dont l'artiste est partie prenante en tant qu'élément intelligent et créatif (McCormack, [s d]).

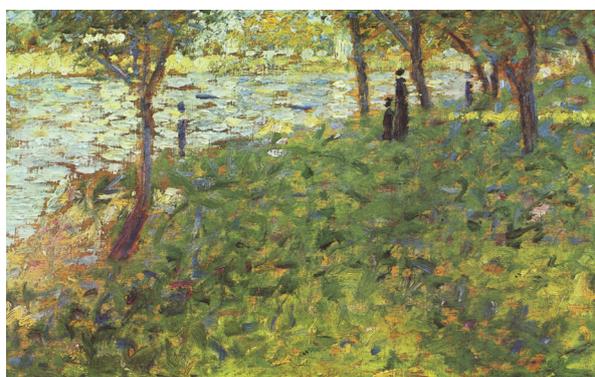


Illustration n° 19. Georges Seurat, «Paysage et personnages», (1884-85), collection particulière



Illustration n° 20. Georges Seurat, «Paysage rose», (1879), Musée d'Orsay, Paris

1.1.6 EXPÉRIMENTATION : « *Paysage de mémoire* »

« *Paysage de mémoire* » (cf. ill. 21 - 25) est une expérimentation personnelle artistique de dessin et d'installation, réalisée en 2013 dans le cadre de ma deuxième année de licence en arts plastiques à l'Université de Paris 8. Cette installation a été exposée en 2015 au centre d'art Le Chêne à Villejuif, à la fin d'une résidence artistique du **Collectif Pirama** à laquelle j'ai collaboré. L'œuvre est constituée de trois parties : (i) trois planches A3, (ii) une maquette et (iii) une installation faite de morceaux de Scotch noir collés sur deux murs d'un couloir étroit.

Sur la première planche est dessiné au stylo noir sur papier un paysage urbain représentant une rue de ma ville natale, Belo Horizonte. C'est un dessin réalisé en France, il ne s'agit donc pas d'un dessin d'observation mais du dessin de ce que ma mémoire a conservé de cet endroit. Les autres planches, imprimées au même format que le dessin, sont des images de ce premier dessin numérisées par un scanner défectueux : il en résulte une déformation successive

du dessin originel. La deuxième partie est une maquette correspondant à la reproduction spatiale miniaturisée du dessin de cette rue au Brésil. La reproduction spatiale est réalisée avec du Scotch noir pour simuler les traits du stylo noir sur le papier. Du fait des limites physiques du Scotch et de la différence de rendu entre les deux techniques, le dessin originel est encore plus déformé et devient méconnaissable. Malgré ses limites, le Scotch a été retenu pour sa symbolique : un outil pour reconstruire, pour rassembler des objets. Et dans le cas de l'installation, pour rassembler des morceaux de mémoire. La troisième partie consiste en une reproduction du dessin originel dans un lieu de passage, à grande échelle. L'intention est d'exprimer l'insistance et l'insuccès dans la reconstruction par la mémoire d'un paysage qui n'est plus contemporain, qui n'est pas issu d'une observation.

Cette installation est intéressante au regard du sujet en ce qu'elle interroge les notions de construction / destruction d'un environnement et le type de relation qui me lie à mon environnement. Le contraste entre le paysage observé et le paysage imaginé, les mémoires incertaines et la tentative de représentation d'un paysage douteux avec des supports alternatifs sont intéressants pour ma réflexion sur le rôle du paysage contemporain. Le rapport poétique entre la représentation de l'environnement quotidien et sa place dans l'imaginaire contemporain est le sujet traité dans cette installation comme il l'est dans le présent mémoire sous forme de questionnement et d'interrogation conceptuelle et technique : **comment et pourquoi évoquer le langage symbolique et métaphorique du paysage aujourd'hui ?**

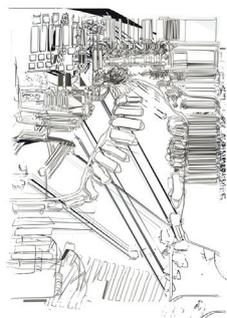


Illustration n° 21. Isadora Teles de Castro, «Paysage de mémoire», (2013), image numérique

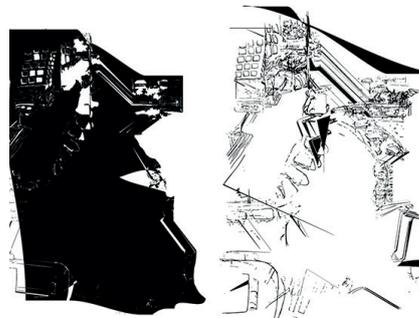


Illustration n° 22. Isadora Teles de Castro, «Paysage de mémoire», (2013), images numériques

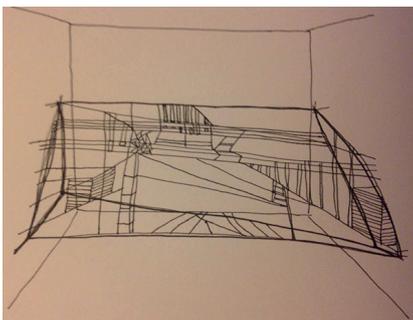


Illustration n° 23. Isadora Teles de Castro, «Paysage de mémoire», (2013), esquisse de maquette



Illustration n° 24. Isadora Teles de Castro, «Paysage de mémoire», (2013), maquette



Illustration n° 25. Isadora Teles de Castro, «Paysage de mémoire», (2013), installation

En outre le questionnement conceptuel de l'utilisation de l'informatique peut également trouver des réponses dans cette installation qui illustre l'altération de l'information lorsqu'elle est traduite de façon automatique ou qu'elle est déformée du fait d'un dysfonctionnement de l'outil. L'erreur dans ce cas fait partie de la proposition. L'idée n'existe pas sans l'erreur de la machine, ce qui peut être considéré comme un résultat esthétique génératif, émergeant de la relation entre le dessin et le scanner. Cet aspect de surprise et d'émergence dans une image générée par une machine m'intéresse car il fait partie des questionnements à mener sur l'autonomie de l'outil informatique et ses conséquences esthétiques. C'est pourquoi les potentialités esthétiques de l'outil informatique travaillant de manière autonome seront intégrées à l'étude des systèmes complexes et de la vie artificielle.

1.1.7 EXPÉRIMENTATION : « *L'escalier et l'île lointaine* »

« L'escalier et l'île lointaine » (cf. ill. 26, 27) est une scène interactive en 3D réalisée dans le cadre de ma troisième année de licence au département d'Arts et Technologies de l'Image Virtuelle. La scène montre un personnage se tenant initialement sur une marche qui flotte sur un océan. Dans une zone apparemment éloignée se trouve une île où le personnage doit se rendre. Le déplacement du personnage fait apparaître d'autres marches sous ses pieds du personnage, formant ainsi une sorte d'escalier volant. Il risque de tomber s'il se déplace trop rapidement ou s'il trébuche. Le but est d'atteindre l'île, il n'y a pas d'obstacle apparent, le seul péril est de tomber dans la mer. On s'aperçoit pourtant que cette île est plus lointaine qu'il n'y paraît, presque inaccessible. Alors que le personnage chemine, une nuée d'oiseaux s'approche de lui pour le faire tomber à l'eau : l'objectif, initialement accessible, se transforme en quelque chose d'impossible à atteindre et la situation devient angoissante.



Illustration n° 26. Isadora Teles de Castro, «L'Escalier et l'Île lointaine», (2015), scène de jeu vidéo



Illustration n° 27. Isadora Teles de Castro, «L'Escalier et l'Île lointaine», (2015), scène de jeu vidéo

Cette expérimentation avait comme objectif, à partir de la représentation d'un rêve personnel au scénario proche de celui de la scène interactive, de traduire la crainte de la mer, la sensation d'insécurité face à son immensité, l'angoisse de parcourir un paysage sans fin et sans sol, sans soutien, un chemin vide. Pour représenter ce vide et cette insécurité, j'ai choisi d'utiliser la création générative et interactive des marches conditionnée par le déplacement du personnage. Cela m'a permis d'appréhender le système de *Flocking* qui est un algorithme développé par Craig Reynolds (Reynolds, 1987) en 1987 pour simuler le comportement des oiseaux et des poissons. Cet algorithme a été utilisé dans d'autres expérimentations artistiques plus récentes et fait l'objet de commentaires plus détaillés au chapitre 2 de ce texte.

La scène est en rapport avec le sujet de la représentation contemporaine du paysage car elle utilise le support numérique et interactif d'un moteur de jeu dans le but d'exprimer la relation du personnage virtuel avec un environnement virtuel. Ces éléments sont utilisés sous forme symbolique et conceptuelle car la scène est inspirée d'un rêve, champ d'expression des émotions et des pensées existentielles. Ce paysage virtuel est donc un moyen de représentation de sentiments et de symboles. Ici, les algorithmes génératifs permettant de créer les marches et les oiseaux, éléments de ce paysage, sont des outils d'expression.

1.1.8 VERS LE PAYSAGE VIRTUEL

Cet état de l'art du paysage dans l'histoire de la peinture m'a permis d'identifier et de clarifier les motivations qui sous-tendent ma recherche et ma démarche créative et de constater des points de similitude avec des réflexions ou positionnements esthétiques de certains artistes. Ces repères étayent mon projet de concevoir un moyen de création et de représentation de paysage en utilisant des algorithmes de vie artificielle, en mettant en tension et en comparaison l'esthétique des écosystèmes virtuels et le contexte historique du paysage comme manifestation artistique des relations entre l'homme et la nature. Ces points sont parfois techniques (comme la présence de la notion de complexité, de la simulation de phénomènes naturels, de l'observation

formelle de la végétation dans l'environnement), parfois conceptuels.

Les aspects techniques de la représentation du paysage sont intéressants pour la recherche car cela montre et justifie la progression des interrogations esthétiques de la représentation artistique sous le point de vue d'une culture qui, de plus en plus, mixe l'art, la littérature, la compréhension scientifique et, plus récemment, l'infographie (Snow, 2013). Ce qui introduit dans la problématique des interrogations sur la place de l'imaginaire dans l'utilisation de modèles scientifiques et d'algorithmes qui deviennent des outils et langages d'expression créative. Ces aspects seront traités lors des expérimentations secondaires au cours desquelles des algorithmes issus du domaine de la vie artificielle seront mis en œuvre.

Le support technique utilisé dans mes expérimentations n'est pas celui de la peinture, mais celui de l'ordinateur. De ces investigations sur l'état de l'art je tire principalement des enseignements sur la motivation de l'artiste quand il choisit de représenter la nature de manière conceptuelle. Dans ma démarche de recherche des concepts à traduire lors de la représentation de la nature en contexte virtuel, il me paraît intéressant d'utiliser comme point de départ les motivations conceptuelles du paysage dans la peinture.

Voici celles que j'ai pu identifier :

- Prise de conscience par rapport à l'environnement, attitude artistique face au paysage (jardin/paradis, espace/lieu, sublime/génialité, forme/informe (Encyclopedia.com, 2017)) ;
- Capture de la temporalité (dimension temporelle) par la représentation d'un paysage ;
- Représentation du mouvement et d'un environnement dynamique ;
- Expression d'une sensibilité par la représentation de la nature ;
- Recul par rapport à la nature (la science et le paysage), hybridation entre connaissance scientifique et sensibilité esthétique ;
- Inclusion de soi dans la dynamique, dans le « système » ;
- Dialogue avec l'environnement à travers la représentation du paysage (interaction ?).

1.2 PAYSAGES VIRTUELS

Des mathématiques à la réalité virtuelle

En ce début d'argumentation sur les paysages virtuels, il me faut définir le mot paysage dans sa caractérisation de «virtuel ». Par cette expression, je vise la reconstruction de la nature ou la synthèse simulée d'éléments naturels par le biais de la programmation graphique pour la génération d'images en temps réel.

Dans le cadre de mon étude seront abordés, à titre d'illustration, des paysages virtuels qui ne correspondent pas strictement à cette définition : il en est ainsi des images pré-calculées et créées avec des logiciels de modélisation 3D. Ces illustrations me permettront d'identifier des idées expressives, des manifestations conceptuelles et des esthétiques prédominantes dans la représentation de la nature par des images de synthèse. Cette extrapolation est justifiée par le défaut de ressources bibliographiques qui identifieraient le paysage virtuel comme un courant spécifique dans l'art numérique ou qui examineraient les paysages en temps réel.

Ainsi, le travail d'identification des types de paysages synthétisés en temps réel, comme en matière de peinture, m'a amenée à focaliser ma recherche sur le contexte artistique et créatif contemporain. Ce travail préparatoire m'a également permis de retenir comme sujet l'étude des possibilités poétiques de la représentation d'un paysage évolutif en utilisant les concepts théoriques et techniques de la vie artificielle. C'est l'analyse du paysage artistique contemporain dans le domaine des images informatiques qui va me permettre d'évaluer la pertinence, au regard d'une poursuite de la recherche en art, de sa relation avec la voie évolutive et autonome des images génératives.

En résumé, ces investigations m'amèneront à évaluer la possibilité d'une confrontation et d'un dialogue entre mes idées et celles d'autres artistes et à identifier le moyen de me nourrir de cette production et de contribuer à l'avancée du discours.

1.2.1 CONSTRUCTIONS DES PAYSAGES VIRTUELS : PAYSAGES MATHÉMATIQUES

L'art numérique apparaît dans la deuxième moitié du XXe siècle. La machinerie progresse et la société se rationalise, du moins dans le monde occidental, ce qui conduit à des modes de vie et de travail plus organisés, systématiques, plus algorithmiques (Couchot, s. d.). L'art numérique s'inscrit dans ce phénomène culturel et y fait écho par l'augmentation

de l'utilisation de concepts mathématiques et scientifiques, comme thématique ou comme technique de création, phénomène hybride entre ces deux domaines. **Edmond Couchot** parle d'un retour à la technicité de l'art (Couchot & Hillaire, 2003), quand l'artiste ne se préoccupe plus autant du contenu et du concept, pour se concentrer sur la technique, source d'inspiration, de motivation et sujet de création.

Ce contexte culturel a un impact sur la représentation du paysage dans le domaine de l'art numérique et permet l'émergence d'images que j'appelle des **paysages mathématiques**, images dont le sujet est lié à la technique et à l'outil de programmation graphique qui permettent des simulations et des modélisations scientifiques. La logique mathématique est la base de construction du raisonnement de la programmation et, par conséquent, elle se retrouve dans les idées, les interprétations et l'esthétique des paysages virtuels contemporains.

« La science fournit à l'art des représentations ou des modèles abstraits du monde que celui-ci transfigure en images sensibles ; l'art opère par substitution analogique, transfert et déplacement de sens. La science donne des idées, propose des conceptions du monde, de la réalité, inspire, suggère, travaille l'art par dessus. » (Couchot & Hillaire, 2003)

Edmond Couchot et Norbert Hillaire dans L'Art Numérique (chapitre La Science comme Métaphore)

Les modèles scientifiques de simulation (mathématiques, physiques, biologiques entre autres) sont une source d'inspiration artistique et leurs thématiques se retrouvent fréquemment dans l'image virtuelle (Couchot, 1996).

Avec la vulgarisation des techniques numériques, beaucoup d'artistes numériques optent pour un style épuré de paysage construit avec des lignes et formes géométriques primitives, issues de la mathématique linéaire et classique : horizon simplifié, peu de détails, formes réduites à l'essentiel (silhouettes, déserts). Ce type d'image conduit à une uniformisation conceptuelle et visuelle (cf. ill. 28 - 30).

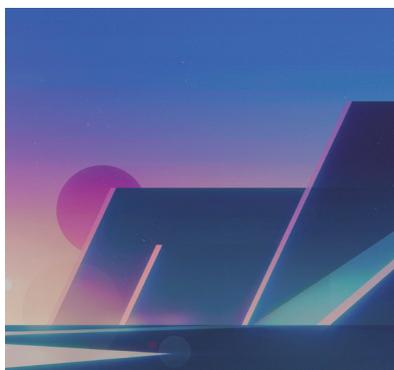


Illustration n° 28. Dave Chenell, «EPOR», (2016)

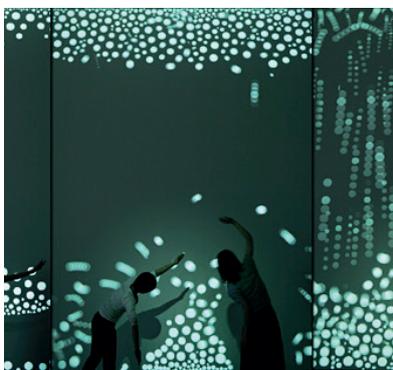


Illustration n° 29. Golan Levin & Zachary Lieberman, «Footfalls», (2016)



Illustration n° 30. Golan Levin, «Interstitial fragment processor», (2007)

Pour autant, les modèles de simulation scientifique sont déjà des lectures et des traductions formalisées du réel. Les paysages mathématiques dont le sujet central est une modélisation logique de l'environnement seraient donc des interprétations artistiques d'idées scientifiques qui sont elles-même des interprétations rationalisées de la réalité (Couchot & Hillaire, 2003). Il y a alors une grande distance qui s'instaure entre l'artiste et sa vision de la nature du fait de l'interposition de la vision scientifique. C'est « la création du sensible avec l'intelligible » (Couchot, s. d.).

Dans certaines animations expérimentales des années 50 et 60 issues de l'art cinétique qui employaient la visualisation des ondes sonores et des signaux, l'esthétique de ces représentations mathématiques générait, par comparaison symbolique, une représentation de paysages (cf. ill. 34 - 36). C'est une transposition des significations : les ondes étaient une rationalisation scientifique d'un phénomène naturel réel qui était utilisé pour représenter un autre phénomène naturel réel (Couchot & Hillaire, 2003). **Est-ce que ces paysages suggèrent que toute forme naturelle peut être intelligible ?** Ce type de représentation géométrique et simplifiée du paysage est très utilisé encore aujourd'hui.

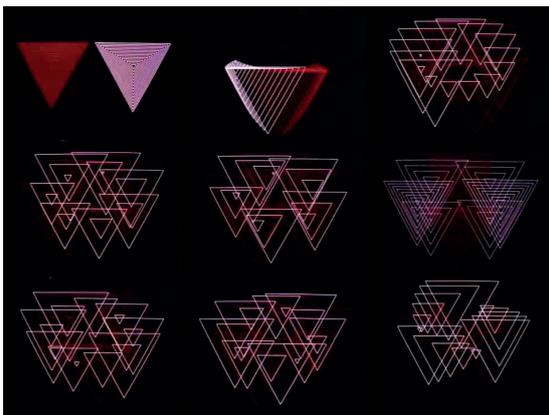


Illustration n° 31. John Whitney, «Matrix III», (1972)

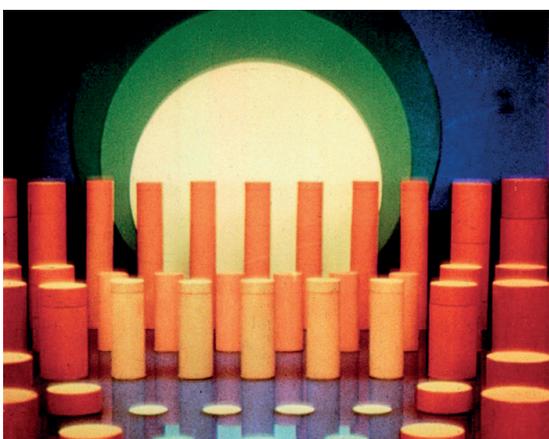


Illustration n° 32. Oskar Fischinger, «Composition in blue», (1935)

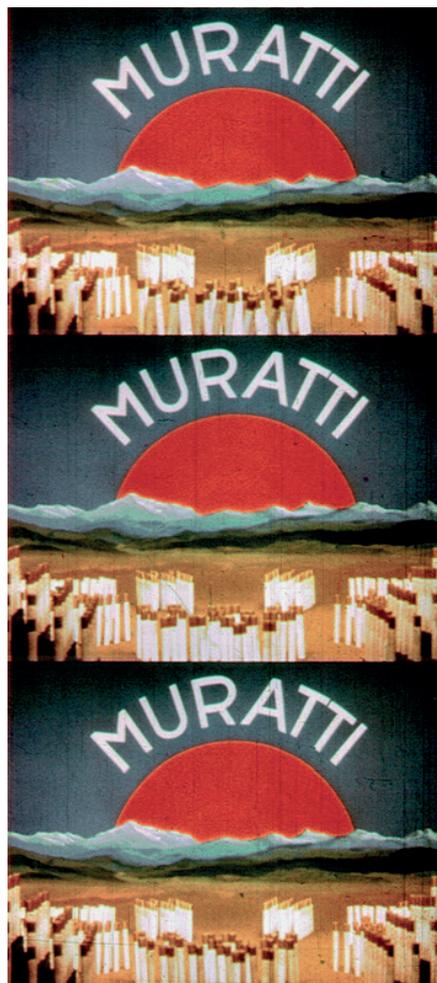


Illustration n° 33. Oskar Fischinger, «Muratti greift», (1934)

Les installations du collectif **AntiVJ** ainsi que celles de ses artistes collaborateurs comme **Joanie Lemerrier** et **Oliver Ratsi** présentent souvent des formes géométriques in-situ et en dialogue avec les silhouettes présentes dans l'environnement (cf. ill. 40 - 42). Ils symbolisent aussi l'évocation très courante et populaire de la thématique montagnaise, du couloir infini et des projections monumentales en réduisant les bâtiments en lignes et géométries simples, en noir et blanc. Un croisement entre les paysages mathématiques, la visualisation des signaux et l'imagerie rayons X avec les codes du minimalisme et du Bauhaus (cf. ill. 37 - 39).

Cela peut représenter une continuation du présupposé contemporain de l'art minimal et de l'art conceptuel qui utilise la re-signification et la sémiologie des formes et des objets, transformant le paysage en langage codifié (comme **Magritte** le proposait déjà, par exemple) (cf. ill. 43, 44).

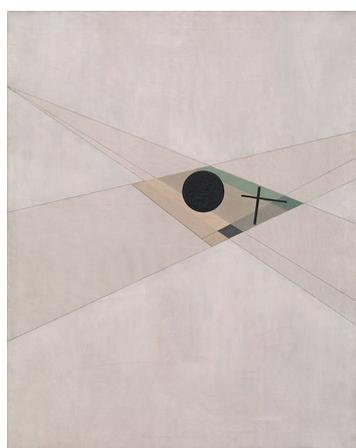


Illustration n° 34. László Moholy-Nagy, «AXL II», (1927), Guggenheim Museum, New York

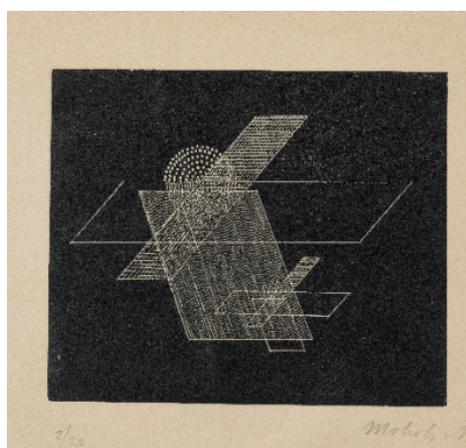


Illustration n° 35. László Moholy-Nagy, «Composition (Variant on A II)», (1924), The Hilla Von Rebay Foundation



Illustration n° 36. László Moholy-Nagy, «Architecture (Eccentric Construction)», (1921), Guggenheim Museum, New York

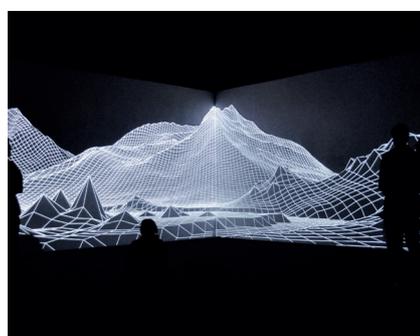


Illustration n° 37. Joanie Lemerrier, «EYJAFJALLAJÖKULL»? (2010)



Illustration n° 38. Joanie Lemerrier and James Ginzburg, «Nimbess», (2014)



Illustration n° 39. Olivier Ratsi & AntiVJ, «Onion Skin», (2013)

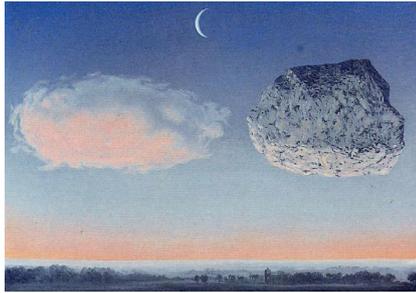


Illustration n° 40. Rene Magritte, «The Battle of the Argonne», (1959)



Illustration n° 41. Rene Magritte, «Le domaine d'Arnhem», (1938)

Mais cette interprétation ne peut être retenue que si l'on considère l'utilisation de la visualisation mathématique comme choix conscient, au-delà d'une simple conséquence due à la logique informatique et ses limites, sa difficulté expressive ou sa difficulté de manipulation. Cette impasse résulte peut-être d'une utilisation peu instinctive de l'ordinateur comme outil de création, car ce n'est rien de plus qu'une machine qui dépend d'une suite linéaire d'instructions. Pour pouvoir créer une image sans l'aide d'un logiciel dont les résultats sont forcément inféodés à sa logique interne, il faut programmer des instructions visuelles personnalisées.

Un exemple de confusion entre esthétique contrôlée et esthétique « otage » des logiciels est l'artiste **Beeple** (cf. ill. 45 - 46). Depuis plus de dix ans, il suit son défi de créer une image par jour avec le logiciel **Cinema 4D**. Sa proposition, ainsi que son style, sont couramment repris et servent de références visuelles à beaucoup d'artistes qui nourrissent le flux d'images numériques sur Internet. Beaucoup de ces images sont des paysages futuristes qui proposent la vision d'un environnement souvent désertique, dominé par la présence de l'électricité, source lumineuse artificielle, suggérant l'intervention extrême de l'homme sur la nature, de façon omniprésente et industrielle (Jobson, 2016).



Illustration n° 42. Beeple, «Triometric», (2017), image du challenge de production d'une image par jour



Illustration n° 43. Beeple, «20 AMP», (2017), image du challenge de production d'une image par jour

La confusion réside dans le principe de la production d'images en série et dans la facilité (Maxon Computer, 2017) d'utilisation du logiciel en question, avec des processus de travail ne nécessitant que très peu d'interactions, de décisions ou de gestes de l'artiste pour parvenir au résultat final. L'artiste **Beeple** choisit la composition, l'illumination et les couleurs, mais son processus de travail est limité par les possibilités imposées par le logiciel. Cela peut être un contre-argument à ma théorie qui soutient que les images mathématiques sont une forme de prise de conscience des artistes face à un environnement de plus en plus mathématique. J'ignore si la représentation est une interprétation de l'environnement réel sous une perspective futuriste, avec des éléments informatiques ou s'il s'agit d'un environnement intrinsèque à l'ordinateur et au logiciel, avec des morceaux, des éléments de la réalité.

Cette distance entre la modélisation de la scène et les choix de l'artiste est la principale raison qui m'a fait choisir de développer plus de projets en écrivant moi-même le code source. Ce qui n'éloigne pas les formes des visualisations mathématiques (parfois même cela les rapproche) mais permet une compréhension technique et conceptuelle de l'outil pour une création plus consciente et complète.

1.2.2 EXPÉRIMENTATION : PAYSAGES POUR « *Artefact* »

Dans le cadre d'un stage réalisé en licence 3, j'ai participé à un projet de scénographie pour un concert de musique électronique à la Gaîté Lyrique en collaboration avec l'entreprise **Monoburo** (cf. ill. 47 - 49). La proposition était de choisir des extraits d'un long métrage contemplatif pour les projeter à 360°. L'idée narrative était de déconstruire le paysage qui représentait la réalité pour illustrer la domination de l'esthétique informatique, électronique. Les images allaient du rendu réaliste d'un panorama de montagnes jusqu'à des pixels en mouvement, en passant par la simplification progressive aussi littérale (les fameux signaux montagneux de « *Joy Division* » (cf. ill. 50)) que symbolique (avec l'utilisation d'une géométrie qui se déformait avec un signal électronique) de la nature initiale. L'idée de la scanographie était la mathématisation, la numérisation du paysage panoramique projeté. Une lecture très objective de l'évolution sensorielle de la soirée.



Illustration n° 44. Isadora Teles en collaboration avec Monoburo, «Artefact», (2015), Gaîté Lyrique

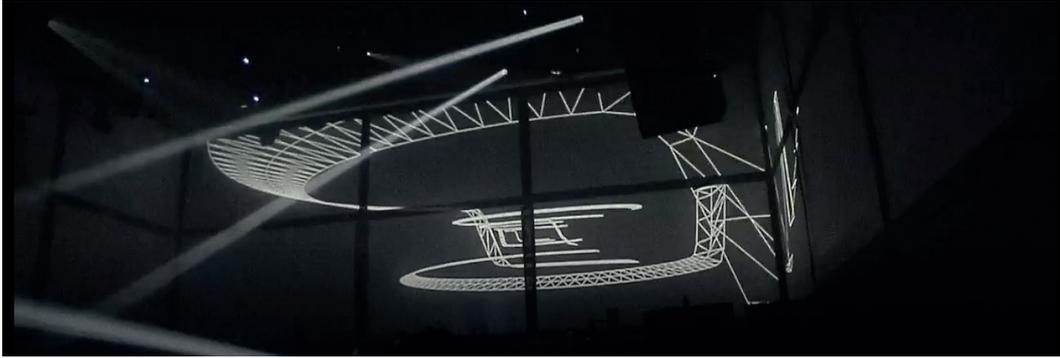


Illustration n° 45. Isadora Teles en collaboration avec Monoburo, «Artefact», (2015), Gaité Lyrique



Illustration n° 46. Isadora Teles en collaboration avec Monoburo, «Artefact», (2015), Gaité Lyrique

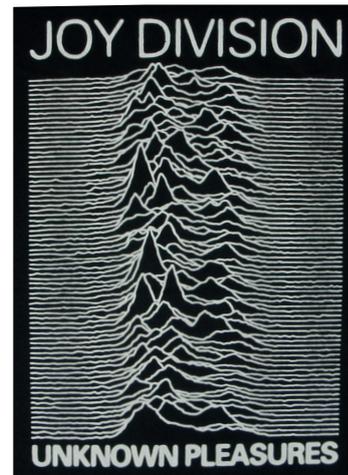


Illustration n° 47. JoyDivision, album cover «UnknownPleasures», (1979)

Ce projet illustre deux aspects importants observés dans la représentation du paysage virtuel mathématique : d'abord l'absence de végétation dans l'environnement créé à l'aide de formules mathématiques, concept proposé par la direction artistique ; ensuite, la connexion directe établie entre le paysage et l'expression sensorielle dégagée par la musique. Ces deux caractéristiques ont aussi été observées dans les exemples précédents de ce type d'image.

L'absence de végétation (ou sa rareté dans le cadre des paysages virtuels que j'ai pu citer) est importante car cela montre un aspect ou une voie esthétique et conceptuelle de la création numérique contemporaine. Dans ce contexte, mes travaux de recherche relatifs à la génération et du comportement d'une végétation dans un contexte d'une installation en temps réel pourraient être analysés comme :

- i. une continuation ou une évolution du développement de la représentation du paysage mathématique ;
- ii. une réaction expressive et conceptuelle à un manque dans le domaine du paysage numérique ;
- iii. une réponse à une difficulté, soit technique, soit visuelle, dans la création de végétation pour le temps réel.

Compte tenu de la puissance de la connexion sensorielle qui existe entre l'image et la musique, le paysage numérique présente un grand potentiel artistique en terme de construction de la scénographie. Une forme **d'interaction avec l'environnement réel et une connexion entre le paysage virtuel et réel à travers du sens.**

1.2.3 DÉCONSTRUCTION DU PAYSAGE RÉEL : PAYSAGES *glitchés* ET SCANNÉS

Les paysages *glitchés* et scannés sont des informations de signaux captés et traités de façon à reconstruire un environnement existant dans un contexte virtuel. Le *glitch* présuppose par contre une modification, une interférence dans le signal capteur de réalité qui éloigne l'immersion, l'illusion de fenêtre vers une autre dimension et rapproche l'image du langage informatique et synthétique. Les deux types de paysages sont des traductions automatisées de données réelles vers des données informatiques. En contraste avec les paysages mathématiques qui sont construites à partir de rien, les images scannées et *glitchés* sont issues d'éléments pré-existants. Dans le cas des *scans*, la technique est similaire à celle de la technique de fragmentation du paysage utilisé dans le pointillisme par les néo-impresionnistes (cf. ill. 51, 52). Ces deux types d'image peuvent être associés à l'avancée et à la popularisation de techniques de capture de données volumétriques et à la facilitation de la capture, de la manipulation, de l'analyse et de la modification de larges listes de données.



Illustration n° 48. Radiohead directed by James Frost, «House Of Cards», (2008)

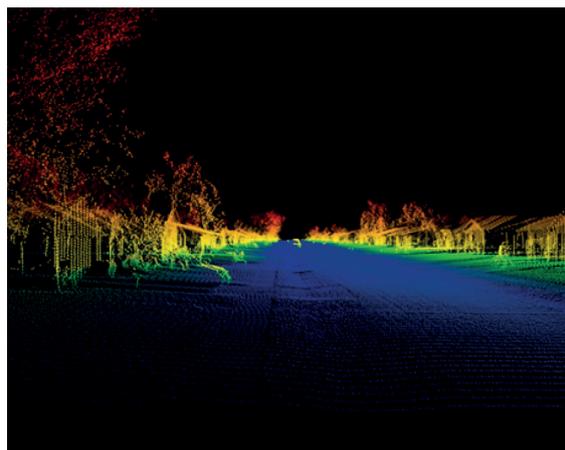


Illustration n° 49. Radiohead directed by James Frost, «House Of Cards», (2008)



Illustration n° 50. Isadora Teles de Castro, «Ode ao Banho», (2012), vidéo 3'



Illustration n° 51. Isadora Teles de Castro, «Ode ao Banho», (2012), vidéo 3

Le style du *glitch*, dans son origine, ne prévoit pas l'intervention de l'artiste dans le processus de traitement des données vu qu'il s'agit de la visualisation des erreurs techniques imprévues de la transmission des signaux. Bien que polémique, ce concept a été élargi à une esthétique de l'erreur, avec ou sans origine ni intervention d'une intention artistique (cf. ill. 53, 54).



Illustration n° 52. Quayola, «Pleasant Places», (2015)



Illustration n° 53. Quayola, «PP-3D-Scans», (2016)

Quayola, par exemple, est un artiste contemporain qui utilise la manipulation de la matrice de pixels d'images, caractéristique typique du langage du *glitch*, comme une stratégie conceptuelle pour rendre évidente une confusion visuelle organique (trouvée dans la nature) et synthétique (fabriquée par l'homme ou plus précisément par une machine). On voit la présence de l'informatique comme un parasite, un modificateur de la notion classique de représentation artistique. L'œuvre « *Pleasant Places* » (cf. ill. 55) montre ainsi une séquence de vidéos de paysages bucoliques qui font appel à des compositions de végétation typique de la peinture champêtre. Là, les arbres et les plantes laissent des traits des pixels avec le mouvement de leurs branches. Petit à petit, tout mouvement laisse des traits et rend l'image originale

progressivement indiscernable. Dans cette œuvre, la nature n'est pas seulement inspiration et point de départ de l'idée mais ses couleurs et mouvements sont des sources de données pour la fabrication d'images que l'on peut comparer à des peintures numériques. Dans le site en ligne de **Quayola** (Quayola, s. d.-c), cette œuvre se trouve dans une catégorie appelée « *Nature-Process-Synthesis* » (Quayola, s. d.-a) qui décrit probablement un processus technique mais aussi son concept de reconstruction, re-synthétisation de la nature en langage numérique. **Quayola** a aussi travaillé avec les géométries scannées dans la pièce « *PP-3D-Scans* » (Quayola, s. d.-b), une installation composée d'une série d'images imprimées d'un arbre scanné, géométrisé en trois dimensions en noir et blanc (cf. ill. 56).

L'œuvre « *Rheo : 5 horizons* » (KUROKAWA, s. d.) de l'artiste japonais **Ryochi Kurokawa** montre elle aussi une déconstruction progressive de paysages naturels et urbains vers leur numérisation et abstraction. Ce sont cinq vidéos en boucle montrées dans cinq panneaux et enceintes différentes, dans un format large et immersif. Dans cette installation, l'artiste utilise les deux techniques du *glicth* et du *scan* pour créer des degrés de décomposition des images, dans une sculpture temporelle de la décomposition et de la traduction de la nature vers son interprétation numérique (cf. ill. 57).



Illustration n° 54. Ryochi Kurokawa, «Rheo 5 horizons», (2010)

D'autres films et installations utilisent également la technique du *scan* mais pour reconstruire un environnement comme une dimension parallèle au réel : en gardant une grande fidélité du détail, mais sous un point de vue différent de celui habituel. « *In the eyes of the animal* » (Marshmallow Laser Feast (MLF), s. d.) (2016) du studio créatif **Marshmallow Laser Feast (MLF)** est une installation originellement in-situ (située dans la forêt de Grizedale, au Royaume Uni). Elle est réalisée en réalité virtuelle (VR pour *virtual reality*) et utilise une forêt scannée en détail comme environnement d'exploration sous la perspective des animaux natifs de cet environnement. La procédure technique et conceptuelle était de scanner la forêt et de la reconstruire avec un large nuage de points virtuels pour réinterpréter le paysage numériquement (cf. ill. 58).



Illustration n° 55. MLF, «In the Eyes of the Animal», (2016)



Illustration n° 56. Antoine Delach, «Ghost Cell», (2015)

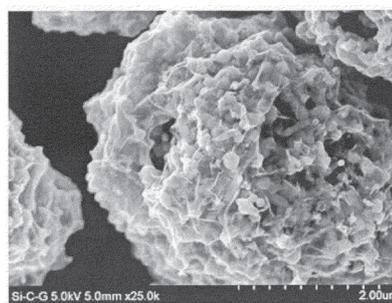


Illustration n° 57. Photographie en échelle «nano»

L'animation « *Ghost Cell* » d'**Antoine Delacharlery** est décrite par lui comme un film « scientifique, documentaire et balade onirique (...) d'un Paris organique vu comme une cellule au travers d'un microscope virtuel » (Delach, 2015) (cf. ill. 59). « *Ghost Cell* » est une expression qui définit une cellule morte dans laquelle le contour reste visible mais dont le noyau et la structure cytoplasmique ne sont pas tachés, teints, colorés (The American Heritage® Science Dictionary, s. d.). La définition du titre de l'œuvre aide à comprendre l'intention de l'artiste quand il représente les paysages urbains et la dynamique de Paris sous le format scanné. Cette technique capte les contours et silhouettes des objets, mais une fois retranscrit dans l'espace numérique, l'objet est creux, composé seulement de ses surfaces. On peut comprendre l'aspect littéralement vide de ce type de reproduction d'un paysage. L'abord scientifique mentionné par l'artiste peut être en rapport avec le rendu similaire des photographies microscopiques et nanoscopiques (cf. ill. 60) mais aussi en lien avec l'interprétation de la ville comme un système complexe, un organisme où les dynamiques intrinsèques sont interconnectées par un mécanisme de rétroaction, un organisme vivant.

Cette interprétation est cruciale pour l'avancée de la recherche car cela montre un raisonnement qui rejoint mon intuition artistique personnelle. L'illustration d'un environnement en le comparant avec un organisme (produit naturel, trouvé dans la nature) est en lien direct avec la comparaison entre la représentation artistique des écosystèmes virtuels et la composition

du paysage. Encore plus parlant, l'utilisation des codes visuels des images microscopiques pour montrer un paysage urbain (jeu entre les échelles du vivant) symbolise, sous un point de vue scientifique, la représentation conceptuelle des diverses couches de complexité trouvées dans la nature, dans un discours récursif, fractal, autosimilaire (un organisme contient un autre organisme et ainsi de suite).

Les paysages en *glitch* et *scans* montrent une voie différente de celle de la création de paysages dits « mathématiques ». Le processus créatif des images est différent et les images sont donc différentes. Le discours de l'erreur, de la déformation et de la manipulation de la vanité temporelle des mouvements et phases de la nature dans le cadre de la technique du *glitch* et des *scans* donne un aspect « d'inquiétante étrangeté » aux images grâce à leur fidélité de captation des détails de la forme naturelle, il la modifie sans pour autant poursuivre le même objectif qu'avec un trompe l'œil. Ce sont des images et des formes volumineuses coincées dans l'univers informatique et donc, aussi, otages de leur langage et de leur esthétique. Dans le cas des paysages mathématiques, la lecture de l'environnement est plus lisse, moins détaillée, plus simple. Le créateur des formes naturelles n'est plus la nature mais l'artiste, à l'aide de l'informatique. Pourtant, les deux styles de représentation de la nature ont la présence et l'intervention technologique humaine en commun dans la représentation de l'infinité du paysage, explicitement (avec l'électricité, l'architecture ou l'ambiance urbaine) ou implicitement (avec la géométrisation, la numérisation et la transformation de formes organiques en signaux électriques).

La fragmentation et la déconstruction de la réalité par l'informatique provoquent aussi une question dans ma recherche : est-ce que la représentation contemporaine de la nature représente une doute ou un questionnement par rapport à la « vérité » du paysage ? Comme dans le film « *Matrix* » (cf. ill. 82) où la véracité de réalité est questionnée (niée par les évidences de son dysfonctionnement), la présence de la logique mathématique et de l'informatique dans un paysage naturel exprime-t-elle le doute, l'insécurité ou la méfiance actuelle par rapport à une originalité organique des choses ? Et par ce doute, une inquiétude avec la domination du « synthétique » dans le paysage ? Je vois là la possibilité d'un nouveau mystère inspirateur, différent de celui qui intéressait les symbolistes ou les romantiques. Si tout peut être synthétisé et rationalisé, est-ce que tout ne l'est pas déjà ?



Illustration n° 58. Lana Wachowski & Andy Wachowski, «Matrix», (1999)

1.2.4 EXPÉRIMENTATIONS : LES NUAGES DE POINTS (OU « *Point Clouds* ») ET LE VIDÉO-CLIP « *Daniel Darc* »

La problématique autour de la captation, du traitement et de la manipulation artistique des *point clouds* était ma première idée de sujet de mémoire. Cela m'intéressait par le concept de reconstruction et de destruction des objets réels et la conséquente mise en abîme des relations sensibles tangibles et virtuelles. J'ai pu faire quelques expérimentations sur ce sujet mais le point de vue du paysage n'est pas été traité puisque la captation des données géométriques d'un paysage est quelque chose d'encore inaccessible dans le milieu étudiant. Les capteurs auxquels j'avais accès étaient de courte portée, permettant l'expérimentation avec des objets plus proches et avec des visualisations et des expressions en portrait personnel.



Illustration n° 59. Isadora Teles de Castro, Test d'autoportrait scané, (2016)



Illustration n° 60. Isadora Teles de Castro, Test d'autoportrait scané, (2016)



Illustration n° 61. Isadora Teles de Castro, Test de doigt en point cloud, (2016)

C'était intéressant pourtant de pouvoir expérimenter artistiquement et techniquement la fragmentation d'objets et ses relectures virtuelles. Ces tests m'ont permis de réfléchir esthétiquement à mon environnement quotidien et ont motivé quelques réflexions qui m'ont menée à la problématique de la représentation virtuelle du paysage (cf. ill. 62 - 64).

Le vidéo-clip « *Daniel Darc* » du chanteur et compositeur **Abd Al Malik** (cf. ill. 65) a nourri mon expérience. Le traitement des données scannées et le paysage où la géométrie du chanteur a été insérée évoquent quelques questions importantes sur le contraste entre construction d'environnements (les paysages mathématiques) et reconstruction fragmentée d'objets (les *scans*). J'ai proposé une simulation de particules projetée au moment des refrains

pour ce projet réalisé par **Romain Cieutat**, réalisateur avec qui j'avais précédemment collaboré pour la scénographie d'une soirée au centre culturel numérique « Gaîté Lyrique ». Pour les parties dont j'avais la responsabilité sur le plan créatif, j'ai proposé l'idée d'un environnement virtuel vide et sombre. Le concept était la destruction ou l'évaporation de la forme scannée du chanteur vers le néant. Les particules représentaient des petits morceaux qui se détachent de sa géométrie et l'absence de paysage était en accord avec l'idée de destruction du réel, de disparition. Les autres morceaux de la chanson traitaient du phénomène inverse, de la construction d'un environnement numérique autour du personnage. Il s'agissait d'un environnement composé de reliefs de géométrie en basse définition, en noir et blanc, sans aucune mention de végétation ni autre forme de vie.



Illustration n° 62. Abd al Malik, réalisé par Romain Cieutat, vidéo clip «Daniel Darc», (2016), extrait du refrain, images créées par Isadora Teles

Dans ce projet on voit encore la vision de la traduction progressive de l'esthétique réelle vers une esthétique numérisée. La végétation et la notion de vie n'étaient pourtant présentes dans aucune des dimensions visuelles et sensorielles.

1.2.5 CONSTRUCTION DE PAYSAGES EN TEMPS RÉEL : *Shaders* ET PAYSAGES GÉNÉRATIFS EN TEMPS RÉEL

Dessiner avec la programmation graphique consiste à donner une suite précise d'instructions pour composer l'image souhaitée. Il y a un ordre d'actions précis à suivre pour atteindre un but visuel spécifique. Cela peut se comparer au processus mis en œuvre par le peintre. Dans le cours de **Bob Ross** par exemple (Bob Ross, 1983), pour représenter un paysage en huile sur toile, la technique enseignée est fondée sur l'ordre des couches de peinture pour arriver à une composition réaliste d'un paysage naturel (cf. ill. 66). **Noam Chomsky**, théoricien et spécialiste du langage, parle aussi d'un ordre à suivre pour communiquer de façon intelligible, d'une façon séquentielle, pour exprimer et représenter une idée (Pasquier, s. d.). Dans le cas

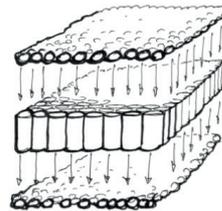


Illustration n° 63. Bob Ross, «Valley View (Season 21 Episode 1)», Youtube

du langage des *shaders*, plus précisément des *fragment shaders*, le raisonnement est un peu différent. Bien que la technique consiste également en un ensemble d'instructions, celles-ci sont exécutées de façon simultanée pour tous les pixels, selon leur position dans l'écran. Comme dans l'imprimerie, le programme reçoit la position et retourne une couleur, il en résulte un calcul très rapide de l'image. C'est ce que l'on appelle le calcul en parallèle (Gonzalez Vivo & Lowe, 2015). Il existe d'autres types de *shaders* comme le *vertex* et le *geometry shader* qui appliquent les instructions sur d'autres informations issues du contexte virtuel que les pixels, mais la logique du fonctionnement en parallèle est la même. Le langage des *shaders* communique directement avec le GPU (*Graphics Processor Unit*) et il est très utilisé actuellement pour la création procédurale d'images en temps réel, comme dans les jeux-vidéos, grâce à la possibilité de créer des images complexes en temps réel de façon automatique (cf. ill. 67, 68).



Illustration n° 64. Patricio Gonzalez Vivo, métaphore du calcul en serie CPU, The Book of Shaders



GPU

Illustration n° 65. Patricio Gonzalez Vivo, métaphore du calcul en parallèle sur GPU, The Book of Shaders

La technique et le concept dans la création de paysage avec le langage des *shaders* ne diffèrent pas de celles des « paysages mathématiques » dans l'aspect scientifique impliqué. Ce sont des images générées par l'ordinateur, des images programmées, donc des images qui se servent de modèles mathématiques, scientifiques et physiques pour exister. Néanmoins, je les ai différenciées grâce à quelques possibilités spécifiques offertes par les *shaders*, comme un sous-sujet, un enfant rebelle. Cette technique permet la manipulation directe des formules et instructions programmées de façon à rendre possible la notion de paysage infini en temps réel : un paysage en constante construction, à partir de quelques directives mathématiques. La deuxième possibilité est de créer et gérer une grande quantité d'informations, animations et

détails en temps réel. C'est une caractéristique importante parce qu'un paysage peut contenir beaucoup d'informations et de données dynamiques d'animation. Le courant de la *Demo Scene* (voir annexes [3]) qui pratique la programmation à visée artistique utilise couramment la visualisation de concepts physiques et mathématiques avec ce langage comme un défi technique d'optimisation et d'exploration visuelle. La liste est longue de travaux autour de la thématique des fractales, simulations physiques et systèmes complexes entre autres. Une galerie et un espace de partage de connaissances sur le développement technique et artistique des *shaders* (plus spécifiquement des *fragment shaders*) est proposée le site *Shadertoy*, avec beaucoup d'exemples de scènes en temps réel, plus ou moins complexes, y compris des paysages (cf. ill. 70, 98).



Illustration n° 66. Inigo Quilez, «Mandelbrot - orbit traps», (2013), Shadertoy

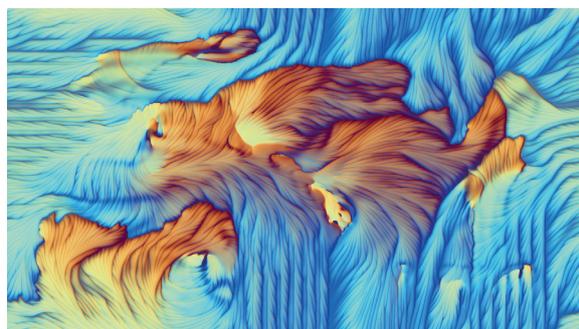


Illustration n° 67. cornusammonis, «Suture Fluid», (2016), Shadertoy



Illustration n° 68. Xavier Benech, «Linescape (Retrorendering)», (2014), Shadertoy



Illustration n° 69. Inigo Quilez, «Grid of Cilinders», (2013), Shadertoy



Illustration n° 70. Inigo Quilez, «Elevated», (2013), Shadertoy

Créer des scènes virtuelles en temps réel avec la notion de profondeur, d'infinitude, de longitude, de complexité et de densité de détails constitue un défi que j'ai transformé en questionnement conceptuel et technique lors de ma recherche créative autour de la problématique sur « comment et pourquoi créer des paysages évolutifs ».

L'utilisation du langage des *shaders* est une solution qui permettrait de générer des paysages de façon procédurale. La difficulté de cette technique est qu'elle requiert des connaissances scientifiques dans les domaines de la mathématique, de la physique, de l'informatique, plus ou moins poussées selon le contenu et le niveau de complexité de l'image. Cette difficulté a pu être contournée par la consultation de l'abondante et excellente bibliographie traitant de ce langage qui est très utilisé pour le développement de jeux-vidéos et pour l'optimisation de l'animation pré-calculée.

Les travaux des chercheurs, informaticiens et artistes **Iñigo Quilez** (Quilez, s. d.) (voir annexes [4]) et **Daniel Shiffman** (Shiffman, s. d.) (voir annexes [5]) sont une inspiration et une mine de réponses pour la création de paysages procéduraux et génératifs en temps réel. Ils contribuent à encourager la création artistique sur ordinateur en publiant leurs connaissances en matière de programmation créative sous formes d'articles, livres ou tutoriels sur le développement de programmes génératifs. Le *live-coding* (voir annexes [6]) fait partie de leur pratique artistique, de recherche et d'enseignement et c'est un sujet qui m'intéresse pour la spontanéité et l'improvisation créative qu'il offre.

La quête de la spontanéité dans la création artistique, déjà mise en évidence dans la pratique impressionniste, donne comme résultat des images plus expérimentales. Cette technique se rapproche du processus classique de création comme le dessin et la peinture et ouvre espace à une dynamique relationnelle, conversationnelle entre l'artiste et l'image, vu que le geste de l'artiste a une conséquence visuelle instantanée sur l'écran et, quand il s'agit des modèles dynamiques mathématiques, de simulations, de systèmes autonomes entre autres formes d'images comportementales, il y a une réponse instantanée de l'image (ou du son) en train d'être générée. La spontanéité dans le cas du *live-coding* a par contre une autre signification dans la représentation du paysage que celle cherchée par les peintres. Le temps n'est plus un moment capturé et figé dans l'espace d'un tableau, mais plutôt un moment créatif qui se fabrique et se modifie, comme le paysage réel. Mais créé et pensé entièrement par l'homme. C'est une dimension dont l'homme assume la genèse et le déroulement des règles et des comportements. Cela ressemble aux principes de la vie artificielle.

Une autre source d'inspiration conceptuelle et technique est le projet « *Generative Art Mining* » (2014), de **David Hoe** (Hoe, s. d.). Cette installation interactive utilise des notions mathématiques, des fractales et du *Machine Learning* (voir annexes [7]) pour offrir au spectateur la possibilité de création ou mieux, d'exploitation (*mining*) dynamique d'images en temps réel. Il est confronté à la complexification progressive et croissante du niveau de détails de la forme et de la couleur de l'image qu'il doit gérer pour se servir de l'outil dessinateur. L'artiste a utilisé aussi l'API Google Predict pour mesurer la préférence des utilisateurs pour certaines fractales et prévoir de nouvelles formes basées sur cette prédilection.

« (...) *it reminds me of the crests of tidal waves. The wide aspect ratio helps to makes this interesting too so the setup could be 2 ultra thin bezel panels in landscape to mimic that of a panoramic canvas art print.* » (Hoe, s. d.)

« (...) *Cela me rappelle les crêtes des marées. Le large aspect ratio contribue à rendre cela intéressant aussi, de sorte que l'installation pourrait être de 2 panneaux de lunettes ultra minces dans le paysage pour imiter celui d'un panneau panoramique imprimé.* »

David Hoe, sur l'oeuvre 'Generative Art Mining'

Les résultats visuels de l'installation ressemblent à quelques paysages romantiques

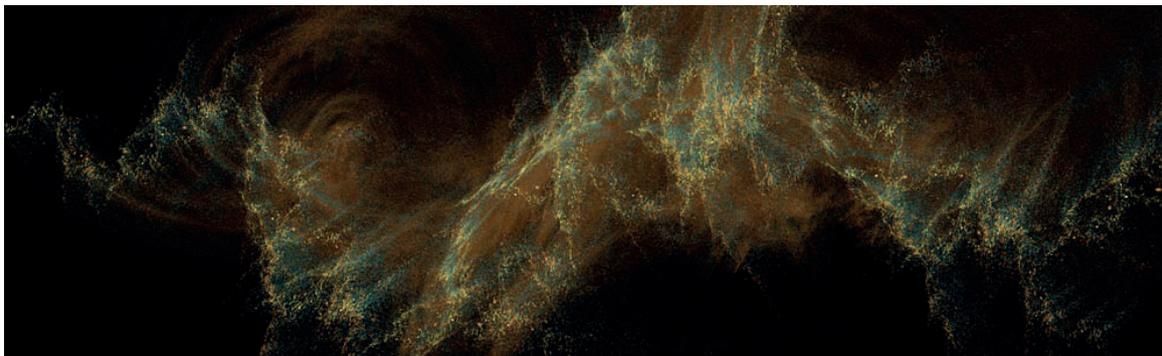


Illustration n° 71. David Hoe, «Generative Art Mining», (2014)

et symboliques cités précédemment grâce à l'expression d'un dynamisme, d'un mouvement et par le format panoramique des images. Pourtant, d'une série de structures récursives, grâce à l'interaction et à l'adaptation des formes en temps réel au goût et au geste des participants, les images générées sont variées, surprenantes et originales (cf. ill. 74).

« I like the interlaced string feel of the last one. It's interesting to think that it's generated from the same well-defined recursive structure as the rest but has completely different feel to it. » (Hoe, s. d.)

« J'aime bien l'aspect entrelacée de ce dernier. C'est intéressant de penser qu'il est généré de la même structure récursive bien définie que les autres mais dégage une sensation différente. »

David Hoe, sur l'oeuvre « Generative Art Mining »

1.2.6 EXPÉRIMENTATION : « *Contes Électroniques* »

L'installation « Contes Électroniques » a été réalisée en groupe dans le cadre d'une résidence artistique à la Maison des Arts et de la Culture de Créteil en 2016, dans la période des semaines dédiées au projet intensif de première année de master au département d'Arts et Technologies de l'Image. La proposition de l'œuvre était d'explorer les possibilités créatives du corps à travers ses divers mouvements et gestes. Les images projetées configurent une séquence de trois types de paysages dont certains éléments sont interactifs et dont la progression de son contenu dépend de la quantité de mouvements effectués qui sont captés devant l'installation. Les trois paysages symbolisaient, visuellement, trois phases de la vie : l'enfance, l'adolescence et l'âge adulte.



Illustration n° 72. Contes Electroniques, tableau 1, (2016)

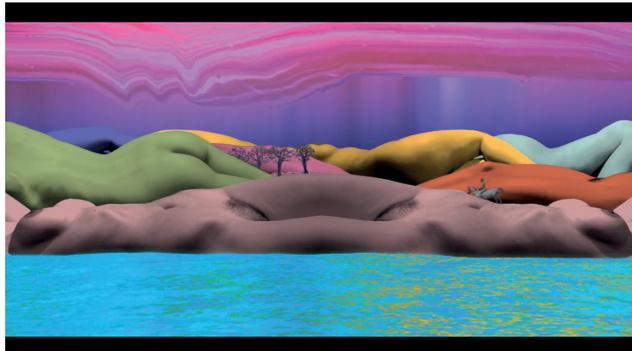


Illustration n° 73. Contes Electroniques, tableau 2, (2016)

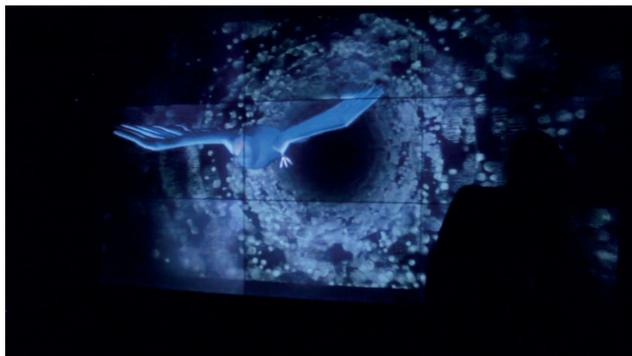


Illustration n° 74. Contes Electroniques, tableau 3, (2016)

Les différents paysages présentés sont des visions oniriques, fantastiques et surréalistes de la croissance et du vieillissement d'une personne, exprimées à travers les symboles d'un paysage. Le concept de la direction artistique était de profiter de l'opportunité de création numérique pour faire des belles images d'environnements où le spectateur avait envie d'être immergé et d'entrer en relation, comme une invitation au mouvement et au rêve. Dans le premier tableau (cf. ill. 75), parmi les montagnes et l'eau animée, les éléments interactifs étaient la végétation en premier plan, ainsi que des gouttes flottantes et des nuages colorés. L'intention était de pouvoir manipuler temporellement les éléments et de jouer avec la notion de gravité (avec les gouttes). L'espace virtuel était un espace jouissif de liberté créative. On avait envie de tirer profit de ces luxes numériques. Par le biais d'une métamorphose des formes, le premier paysage se transforme en un deuxième paysage (cf. ill. 76). Dans ce dernier, nous avons joué avec les échelles et avec la profondeur, en utilisant des silhouettes de femmes pour représenter les montagnes, des cerveaux pour symboliser des ponts, des chaises volantes comme des oiseaux et une aurore boréale numérique à la place du ciel. La troisième partie consistait en un couloir infini (cf. ill. 77), un tube rempli de lignes végétales par où s'envolait un oiseau. La position du

spectateur était captée par une caméra infra-rouge (*Microsoft Kinect*) et guidait la position des lumières dans la scène, illuminant interactivement le tunnel et l'oiseau.

L'interactivité et la progression des images ont été restreintes dans l'installation car nous n'avons pas utilisé de techniques procédurales et génératives des formes en temps réel. La seule forme d'interaction consistait en des boucles de vidéos d'animations pré-calculées. Les spectateurs ne modifiaient pas l'image et il n'y avait pas d'évolution imprévue ni de construction créative de leur part : après la séquence des trois tableaux, ils revenaient au premier et la boucle restait la même. Cette observation sur l'installation m'a amenée à imaginer une déclinaison de l'idée et a motivé la recherche sur les images évolutives en temps réel, principalement des images interactives, sensibles et réactives de manière autonome et vivante à la présence participative. Un défi encore plus intéressant serait la possibilité de réaction intelligente et la modélisation de comportements virtuels dont l'image conséquente serait aussi imprévisible que les relations dans la dimension réelle.

1.2.7 IMMERSION DANS LE PAYSAGE: PAYSAGES À 360°

La réalité virtuelle (VR) est une façon de présenter, à nos divers sens, un environnement fabriqué par un ordinateur et exploitable par ces sens. Techniquement, la VR décrit un environnement en trois dimensions, généré par ordinateur, qui peut être exploré par une personne et qui interagit avec elle. Cette personne est immergée et fait partie de ce contexte virtuel, elle est potentiellement capable de manipuler des objets et d'exécuter une série d'actions (Virtual Reality Society, 2015).

La VR peut être créée avec différents procédés : avec l'enregistrement vidéo, avec la modélisation et le rendu pré-calculé ou avec la création d'un contexte virtuel en rendu temps réel (cf. ill. 78). La logique commune de ces trois processus de création est le contrôle de la caméra par le spectateur, souvent en première personne. Pour ce faire, l'environnement est conçu avec de l'information visuelle disponible à 360°. Par rapport au contenu narratif, la VR représente une nouvelle forme de conception (Harkenrider, s. d.). Un défi qui stimule violemment la créativité des scénaristes des films et de jeux vidéos et les amène à se poser de nombreuses questions sur le cadrage, sur les possibilités de récits et d'environnements, les limites de cet environnement par rapport au spectateur, à sa sécurité, sa santé, son confort et son niveau de perception (Damiani, 2016). On trouve dans les médias d'information de nombreux articles sur le potentiel de la narration en VR (Harkenrider, s. d.) mais aussi des critiques sur ce sujet (αρχιτεκτονική, 2016) qui mettent en cause le potentiel d'innovation ou de défi de la technique de la VR. Selon ces critiques, la VR n'apporterait aucune innovation car elle présenterait soit une histoire contemplative et passive comme dans le cinéma, soit une narration interactive comme dans le domaine des jeux-vidéos (Xiao, 2016).

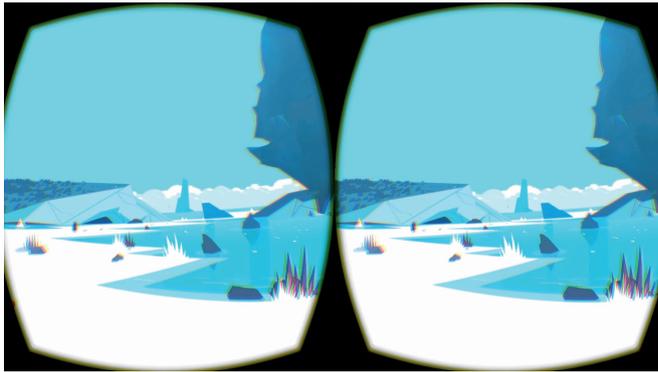


Illustration n° 75. Joseph Chen, «Colosse», (2016), film en VR temps-réel



Illustration n° 76. J. M. W. Turner, «The Lake of Zug», (1943), The Metropolitan Museum, New York

Concernant le paysage, **est-ce qu'il y a un paradigme émergent dans sa représentation artistique en VR ?** Un moment, une composition ou un élément spécifique dans un paysage peut faire sujet symbolique et poétique d'une narration non-linéaire dans une peinture. Mais un moment, comme dans la réalité, peut être représenté en 360°, comme un point de vue étendu, contextuel, comparatif. Si un coucher de soleil de Turner (cf. ill. 79) était transposé en VR, le moment serait-il plus ou moins expressif et narratif ? Le point de vue étendu représente dans ma recherche personnelle sur la représentation de paysages une opportunité créative, interactive et évolutive. Laisser un spectateur choisir et expérimenter les contrastes visuels possibles et, pourquoi pas, symboliques dans un paysage naturel ou urbain et rendre possible non seulement l'immersion mais l'interaction avec l'avancée, la progression et l'évolution de ce paysage est pour moi un point extrêmement prometteur et inspirant dans le domaine de la VR.

Pour rendre possible une expérience au minimum confortable et idéalement immersive en VR, une problématique courante est l'optimisation de la quantité d'informations et de calculs dans la scène, sous peine de subir un ralentissement des images susceptible de provoquer des aberrations gênantes pour la perception du spectateur et pouvant entraîner une confusion proprioceptive. Le risque est d'autant augmenté que les yeux sont proches de l'écran. L'arbitrage est compliqué quand le but artistique impose de montrer du détail, de l'infinité, de la dynamique physique et des relations complexes dans un paysage naturel. Ces expressions sont déjà coûteuses au niveau des calculs exigés sous un point de vue fixe et contraint. Quand il s'agit de les transposer en technique de VR, la réalisation paraît presque impossible. Il existe des moteurs de jeux avec des techniques d'optimisation avancées comme Unreal Engine qui ont déjà présenté des démonstrations techniques capables de rendre des paysages riches en détails, avec la notion de profondeur de l'environnement et en temps réel (cf. ill. 81). L'installation « Immersion extraordinaire » réalisée par *VR Studio* pour la marque Perrier lors du championnat de Roland Garros en 2016 est un exemple de création où le concept de paysage est exploité de façon réaliste et limitée à la rotation de la caméra correspondant aux mouvements de la tête du



Illustration n° 77. evilmrfrank (nom d'utilisateur sur youtube), «Unreal Engine 4 mountain environment - Foliage/Landscape test (Made in 2 days)», (2015), still image depuis Youtube



Illustration n° 78. Campagne publicitaire de Perrier, «Immersion Extraordinaire», (2016)

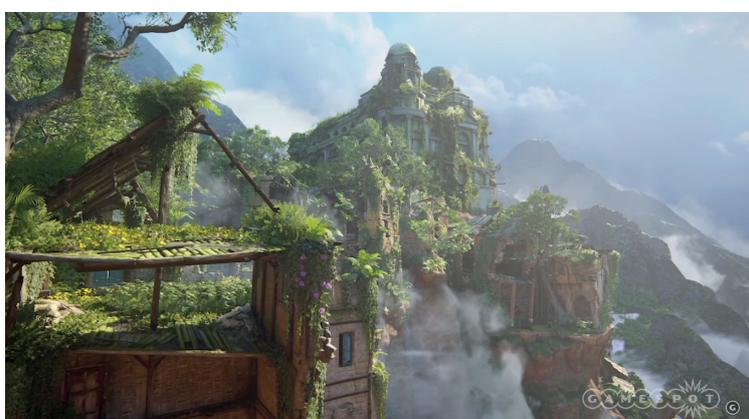


Illustration n° 79. Naughty Dog Studio, «Uncharted 4: A Thief's End», (2016), PlayStation 4

participant (cf. ill. 80). Le jeu « Uncharted » peut illustrer le création de paysages complexes en temps réel (cf. ill. 82). Même si ce jeu n'est pas en VR, la technique de génération d'une grande quantité de végétation en temps réel est présente dans ce jeu, ce qui démontre la possibilité technique de la proposition.

Dans un projet génératif et évolutif, le seul rendu d'objets physiques et cinétiques ne satisfait pas l'idée d'interaction et de progression temporelle visée dans ma recherche créative. Pour représenter un paysage imprévisible et en changement constant, avec des éléments sensibles aux conditions de l'environnement et aux actions du spectateur, il faut disposer d'un système de gestion des données dans la scène pour les faire réagir, évoluer et avoir des comportements adaptatifs. Une piste serait d'alléger le système en optant pour une scène moins détaillée et moins réaliste afin de pouvoir suivre et contrôler le développement des éléments, en ayant recours, le cas échéant, à des formes abstraites, symboliques ou à des effets permettant de réduire la quantité d'informations à gérer. Sans pour autant perdre de vue que les moyens mis en œuvre dans le cadre de cette recherche doivent servir mon intention artistique qui est d'utiliser le pouvoir expressif de la nature en VR.

Mon intention artistique est en effet d'utiliser le potentiel poétique de la composition du paysage, associé aux concepts de l'art génératif (comme étudié et expliqué par **Philip Gallanter (Galanter, 2003)**) et de la vie artificielle (selon **John McCormack (McCormack, 2007)**) pour exploiter les possibilités créatives de la surprise, de l'autonomie de l'image et des possibles relations esthétiques et sensibles qu'une image « intelligente » ou « vivante » peut offrir. La VR est un domaine où les défis artistiques et techniques sont inspirateurs et motivants mais dont les limites techniques en matière de génération de formes et d'image évolutives constituent encore des obstacles à la réalisation d'expérimentations créatives.

1.2.8 EXPÉRIMENTATIONS : « *Parallélogrammes* » ET « *F* »



Illustration n° 80. Alexandre Gomez & Isadora Teles de Castro, «Parallélogrammes», (2016)

« *Parallélogrammes* » est une installation interactive réalisée en binôme en 2016, dans le cadre du cours d'art numérique du deuxième semestre du master Arts et Technologies de l'Image Virtuelle (cf. ill. 83). L'intention était d'associer les techniques de la captation de manipulation d'objets réels par le spectateur et la visualisation des conséquences dans l'environnement immersif de la VR. L'œuvre est composée de deux éléments : (i) un cube peint à la main en noir et blanc qui contient deux capteurs, un gyroscope pour détecter et envoyer des données de rotation et un accéléromètre pour détecter et envoyer des données de vitesse de rotation, (ii) une interface de VR constituée d'un casque et d'un programme graphique créé sur **Unity**. Le spectateur est guidé pour utiliser le casque et manipuler le cube physique afin d'interagir avec le programme. Il constate alors que les mouvements de rotation effectués en manipulant le cube correspondent aux mouvements de l'environnement virtuel dans lequel il est inséré. Le spectateur se retrouve à l'intérieur d'un cube virtuel, avec des motifs ressemblants à ceux peints sur l'objet physique qu'il a dans ses mains.

Le concept était d'expérimenter la perception de l'environnement avec les limites de la perception et de la proprioception du spectateur. De plus, l'installation proposait une mise

en abîme du concept d'immersion, en prenant ce mot à la lettre : le spectateur est immergé dans l'objet qu'il manipule, sous une perspective incompréhensible au regard des lois de la physique, car il est impossible d'être à l'intérieur d'un objet qu'on manipule. C'est une sorte d'énigme : comment peut-on être en deux endroits au même moment ? Le geste de manipuler un objet réel et de constater visuellement son effet sur l'environnement virtuel représente, dans le cadre de cette recherche, un type d'interaction qui amène le spectateur à affecter le paysage. Il peut non seulement orienter son regard de façon naturelle et réaliste avec le mouvement du casque de VR, mais également orienter ce qu'il regarde. Dans la réalité, il peut difficilement voir un paysage à l'envers même en bougeant sa tête car il est confronté à ses mouvements sont physiquement limités. Mais la possibilité de manipuler le paysage, par un mouvement de rotation par exemple, permet d'expérimenter les effets visuels et les conséquences physiques des manipulations de l'environnement. L'implication du spectateur, sur le plan visuel, dans les conditions dans l'environnement virtuel (le paysage) et par conséquent, du paysage, est un élément important dans le cadre de la présente recherche.

Pour autant, visuellement, le projet « Parallélogrammes » s'éloigne de l'idée de représentation de paysage recherchée : ma proposition est de créer un paysage naturel qui évolue avec ou sans l'intervention de technologies humaines. La présentation de la végétation avec une dynamique « vivante » me paraît fondamentale pour l'expressivité nécessaire à l'identification de la pièce en tant que paysage évolutif.

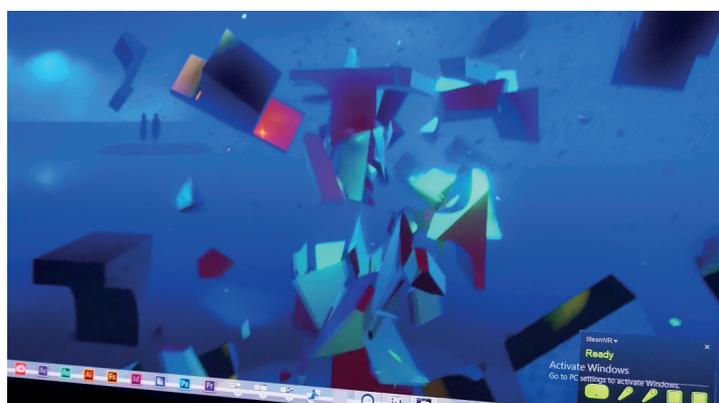


Illustration n° 81. Isadora Teles de Castro pour Superbien, «F», (2016)

Une deuxième expérimentation en VR consistait à créer une scène interactive contenant la lettre « F » dans le paysage (cf. ill. 84). Ce projet a été réalisé dans le cadre du stage à l'agence « Superbien », en 2016 également. L'idée était de créer un environnement virtuel immersif où le spectateur se confrontait à la lettre « F ». L'expérience est filmée et insérée dans un *teaser* de l'agence dans le but de montrer ses capacités techniques. C'était une opportunité pour expérimenter la création de paysages immersifs. La première proposition était la découverte de la lettre « F » en anamorphose pour susciter l'envie d'explorer la scène. J'ai suivi plusieurs pistes en modifiant l'échelle de l'anamorphose, les types de paysages, les

ambiances, les niveaux de réalisme du paysage et du rendu. Néanmoins la quantité d'éléments dans la scène, restreinte du fait des contraintes de calcul, a posé problème par rapport à l'échelle du paysage. L'utilisation de *shaders* de simulation d'eau (une simple géométrie plate simulant une surface d'eau dynamique) m'a permis d'obtenir moins de géométrie dans la scène et de créer des espaces ouverts donnant une notion de profondeur et d'horizon infini.

La scène retenue était la plus interactive, celle qui offrait la possibilité d'action physique sur plusieurs objets (la lettre « F » incluse) à une distance accessible par le spectateur. Pour donner l'impression de profondeur dans cette scène, un peu au-delà de la position prévue pour le participant, j'ai inséré deux silhouettes de personnages à une plus petite échelle. De plus, quelques simulations de particules progressives ont été positionnées dans certains points de la scène pour la dynamiser et pour créer une narration visuelle dans le paysage.

L'inspiration artistique de ce projet était le tableau « Portrait de Stéphanie Langui » de Magritte (cf. ill. 85). Cet artiste, par ses images simples, symboliques et qui suggèrent beaucoup avec peu d'informations, est une grande source d'inspiration pour les artistes qui utilisent la VR comme support de création de paysages. Le surréalisme en lui-même est un courant dont l'esthétique est exploitée en VR, pour des raisons conceptuelles certainement (la thématique du rêve est particulièrement riche pour une expérience virtuelle immersive) mais peut-être aussi pour des raisons pratiques liées aux limites de performance des ordinateurs actuels.

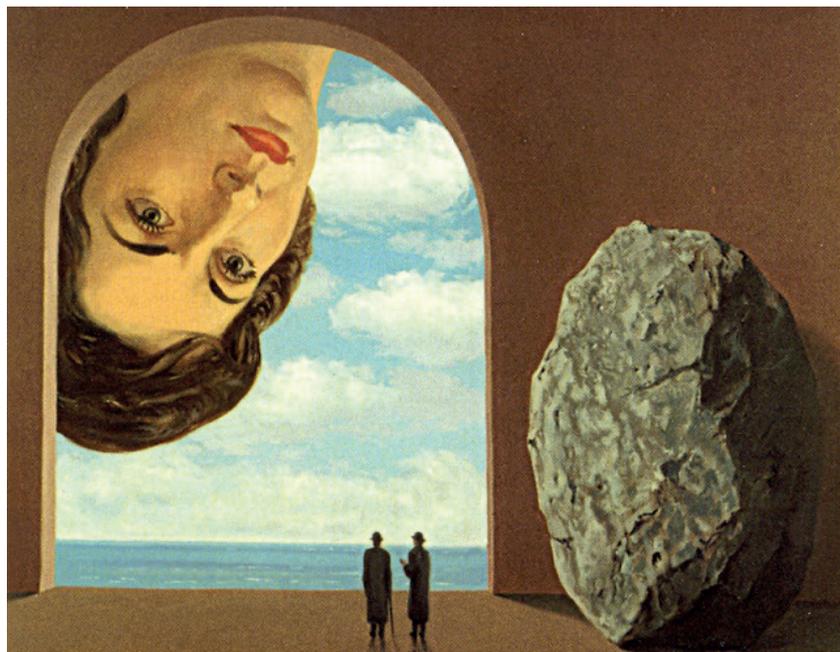


Illustration n° 82. René Magritte, «Portrait de Stéphanie Langui», (1961),

1.2.9 VERS LES ÉCOSYSTÈMES

La création de paysages virtuels en temps réel permet de connecter entre la dimension temporelle et la dimension interactive comme agents modificateurs et agents conceptuels du contexte numérique créé. Ce contexte peut être construit à partir de plusieurs techniques différentes mais les rapports sensibles et imaginaires entre l'univers réel et l'univers informatique sont toujours présents et sous tension.

L'intérêt croissant porté aux techniques de création d'environnements artistiques, de leur construction mathématique jusqu'à l'immersion virtuelle en passant par la reconstruction scannée d'environnements réels, suggère que l'homme souhaite, par cette voie, explorer les relations de plus en plus intimes qu'il entretient avec son environnement.

Le paysage reste dans l'imaginaire artistique : il devient une présence, une entité dynamique, sensible, réactive et interdépendante de la personne qui il se confronte. Comme un personnage dans une narration. Ce sentiment de paysage personnage (cf. ill. 86, 87) a été évoqué dans la recherche sur sa représentation picturale. C'est un de mes questionnements personnels : **est-il possible de s'approprier ce concept pour mener des investigations dans le domaine de l'art numérique ? Est-il possible d'y adjoindre les notions et les pratiques empruntées au domaine de la vie artificielle ?**

La science a permis à l'homme d'expliquer les phénomènes et les dynamiques à l'œuvre dans l'environnement, en augmentant son rôle conceptuel et pratique dans la sensibilité artistique au delà de l'idée d'entité visible et décorative, vers une entité intelligente et évolutive. Entité dont l'homme fait partie et sur laquelle il agit de façon directe et indirecte. L'étude de la vie artificielle et la théorie de la complexité ont ouvert un nouveau chemin de la compréhension comportementale et, par conséquent, de l'esthétique de la nature. Le prochain chapitre va explorer la représentation de ces comportements comme sujet d'intérêt pour la représentation artistique, encore influencée par des modèles et découvertes scientifiques.



Illustration n° 83. Teddy Newton, Pixar Animation Studios & Walt Disney Pictures, «Day & Night», (2010)

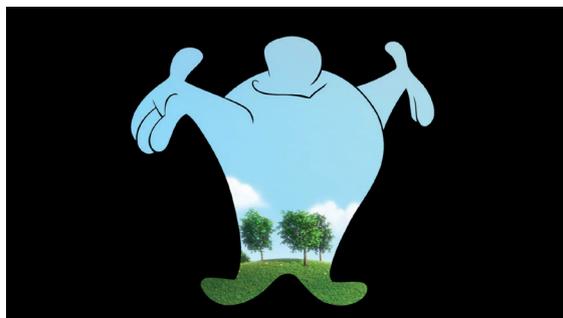


Illustration n° 84. Teddy Newton, Pixar Animation Studios & Walt Disney Pictures, «Day & Night», (2010)

1.3 PAYSAGES ÉMERGENTS

La vie artificielle et les écosystèmes virtuels

« Comme l'avait annoncé Von Neumann dès 1957, la nouvelle association sur laquelle se fondera sans doute l'épistémé du XXI^e siècle réunira la physique, la biologie et l'informatique. Et il semblerait que le calcul automatique soit le seul moyen qui rende possible une gestion contrôlée de la complexité. » (Couchot & Hillaire, 2003)

Edmond Couchot, L'Art Numérique (Chapitre La science comme présence efficiente, p36)

Malgré la consonance pragmatique et scientifique de ces propos, **Edmond Couchot** évoque ici la fusion de disciplines scientifiques devenue nécessaire pour gérer la complexité de l'art, comme seul chemin possible pour une interprétation sensible du domaine de la créativité et de l'expressivité.

En commençant ces travaux de recherche créative, je n'avais pas envisagé de suivre ce cheminement qui m'a amenée à m'intéresser à l'art génératif, à approcher les concepts scientifiques inhérents à l'étude de la nature (autonomie, récursivité, ensemble de règles qui instruisent la construction de formes comme l'ADN,...), à aborder le domaine de la vie artificielle et des écosystèmes.

Voici comment s'est construit mon parcours : l'objectif initial était d'élaborer un système de règles de programmation informatique dans le but de dessiner une image, de définir précisément le type de règles et le niveau d'**autonomie possible pour permettre une évolution de l'image**, d'imaginer un changement de ces règles et de découvrir quels types d'images et de contextes virtuels ces règles étaient susceptibles de générer. Cela a nécessité une réflexion sur les caractéristiques des systèmes en général et des systèmes complexes en particulier (Galanter, 2003).

L'application de ces concepts dans les arts et humanités est appelé « complexisme » par **Philip Galanter** (voir annexes [8]) et configure un courant artistique qu'il identifie comme étant de « l'art évolutionnaire » (Galanter, 2008). Le « complexisme », pour **Galanter**, est une sorte de « *réconciliation entre les sciences et les humanités à travers la synthèse du moderne et du post-moderne* » (Galanter, 2008), un geste sensible et artistique où la complexité, champs scientifique, est sujet et méthode pour la création artistique (approche similaire à celle exposée dans la partie « paysages mathématiques »).

Le concept de « complexisme » expliqué dans un article publié en 2008 se rapproche du concept de « *Seconde Interactivité* » développé en 2003 par **Marie-Hélène Tramus, Michel**

Bret et Edmond Couchot dans l'article de même nom (Couchot *et al.*, 2003). **Tramus, Bret et Couchot** analysent deux types d'interaction possibles dans une image virtuelle : l'endogène (entre les objets virtuels simulés par l'ordinateur) et l'exogène (entre le spectateur et l'image). Cette seconde interaction survient quand l'interactivité endogène a atteint un niveau supérieur de complexité et d'autonomie. Elle s'analyse au moyen de modèles comportementaux issus des sciences cognitives et des sciences du vivant alors que l'analyse de l'interaction endogène s'appuie sur des modèles physiques et mécaniques. Ce haut niveau de complexité et d'autonomie dans les dynamiques interactives à l'intérieur d'une image numérique est construit à partir de références aux études des phénomènes naturels et aux comportements systémiques vivants, du plus ordonné au plus désordonné, en passant par les systèmes complexes. **Le sujet et la méthode des systèmes finissent par être des dénominateurs communs entre l'art génératif, l'art évolutionnaire, la science de la vie artificielle et des d'écosystèmes virtuels.** (cf. ill. 112)

L'idée d'effectuer des recherches sur les écosystèmes virtuels est née de l'envie de réaliser une installation interactive dont le paysage serait le sujet et le type de composition visuelle. Le lien entre paysage et écosystème est né de la perspective, insatisfaisante, de créer un environnement où le comportement des éléments serait prédéfini et répétitif, et donc sans surprise. Un environnement sans individus ni sans relations entre eux échappant à mon contrôle artistique ne m'aurait pas permis d'exprimer ma sensibilité par rapport aux éléments de la nature et aux mystères qu'elle dégage. Le modèle d'écosystème virtuel, comme une situation spatio-temporelle où les éléments entretiennent des relations entre eux, me paraît plus adapté comme méthodologie ou champs d'étude pour la création d'un paysage expressif.

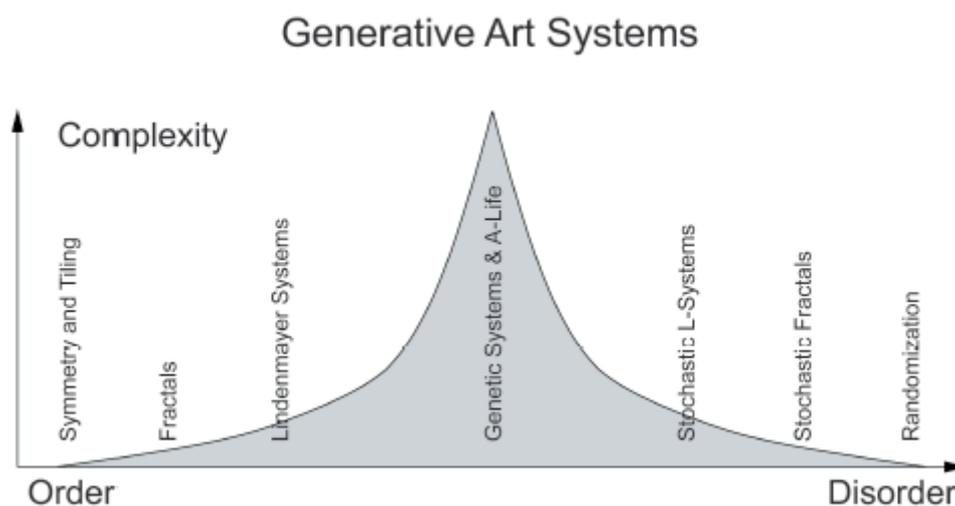


Figure 8.1

Illustration n° 85. Gary William Flake, «The Computational Beauty of Nature», (1998)

1.3.1 LES NON-PAYSAGES DE LA VIE ARTIFICIELLE

« En étendant les fondements empiriques sur lesquels la biologie est basée au-delà de la vie à base de carbone qui a évolué sur Terre, la vie artificielle peut contribuer à la biologie théorique en positionnant la vie telle que nous la connaissons au sein d'un espace plus large : la vie telle qu'elle pourrait être. » (Heudin, 2008)

Jean-Claude Heudin cite Christopher Langdon dans les actes de la première conférence 'Artificial Life (1982), Créatures Artificielles

La vie artificielle est un domaine d'études récent dont le traité de naissance officiel est la conférence *Artificial Life*, en 1982, organisée par **Christopher Langdon** et notamment inspirée par les recherches de **John Von Newmann**, **John Conway**. Ses origines remontent au courant de la cybernétique, aux méthodes de la science occidentale et à la crise de l'intelligence artificielle, lors qu'apparaît la nécessité d'un « corps » en plus d'un « cerveau » avec les propriétés de percevoir, de se déplacer, d'explorer et de subir les conséquences d'une existence au sein d'un environnement pour fonctionner non seulement par la pensée mais de manière vivante (Heudin, 2008). A partir des travaux de **Von Newmann**, plusieurs voies de recherche sont apparues autour de la quête de nouvelles formes de morphogenèse, où les instructions dans le programme informatique se contentent d'initialiser les informations basiques pour la création de formes (comme le lancement d'un germe) et permettent leur développement et leur auto-organisation selon des données calculées en temps-réel et non décrites au préalable (Couchot & Hillaire, 2003).

La méthodologie de la vie artificielle est constituée de deux étapes : l'abstraction des principes fondamentaux du vivant et la transposition de ces principes sur un support choisi. Son principal objectif est la compréhension des phénomènes de la vie en les recréant sur d'autres supports et en les rendant accessibles à plusieurs domaines d'expérimentation (Heudin, 2008), l'un d'entre eux étant l'art.

Laurent Migonneau et **Christa Sommerer**, deux artistes numériques contemporains, ont intégré précocement les concepts et méthodes de la vie artificielle dans leur pratique artistique reconnue de longue date (Sommerer & Migonneau, s. d.-a). Ils l'ont traitée de manière presque littérale : le comportement observé chez des insectes réels est reproduit par des insectes virtuels ; des aspects botaniques naturels sont reproduits par des plantes virtuelles (Sommerer & Migonneau, s. d.-b). Dans les œuvres « *On The Fly* » (« Portrait on the fly », de 2015 et « People on the fly », de 2016) (cf. ill. 89, 90), les systèmes autonomes d'entités cinétiques sont représentés par des mouches qui cherchent à se poser sur les silhouettes détectées à partir de vidéos captées en temps-réel de l'environnement de l'installation. Dans les œuvres « *Interactive Plant Growing* » (1992) (cf. ill. 91), « *Transplants* » (1995) (cf. ill. 92) et « *Life Species* » (1999) (cf. ill. 93), des plantes numériques sont générées à partir de modèles

scientifiques de développement de systèmes botaniques. Comme **Karl Sims** et **Craig Reynolds**, ils font partie de ces artistes hybridés de scientifiques qui ont porté le sujet de la vie artificielle dans le champs de l'art interactif, en donnant une interprétation poétique à des concepts jusque là exploités essentiellement par les scientifiques.

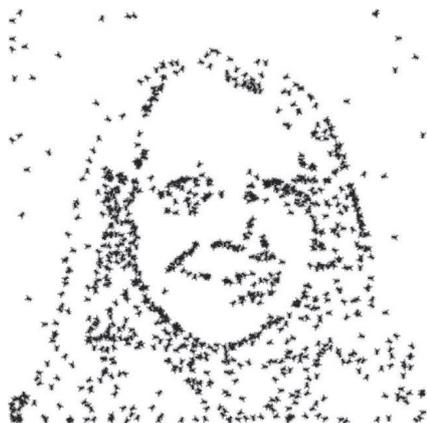


Illustration n° 86. Christa Sommerer & Laurent Mignonneau, «Portrait on the Fly», (2015)



Illustration n° 87. Christa Sommerer & Laurent Mignonneau, «People on the Fly», (2016)



Illustration n° 88. Christa Sommerer & Laurent Mignonneau, «Interactive Plant Growing», (1992)

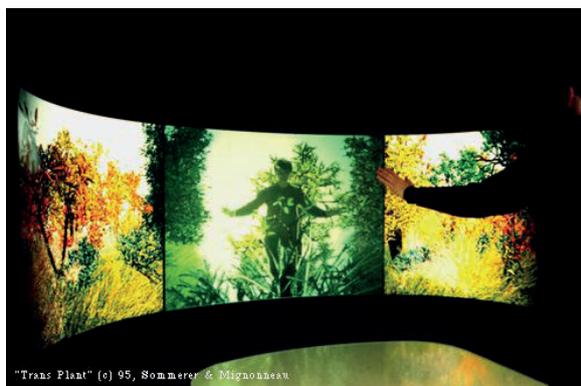


Illustration n° 89. Christa Sommerer & Laurent Mignonneau, «TransPlants», (1995)



Illustration n° 90. Christa Sommerer & Laurent Mignonneau, «Life Species II», (1999)

Laurent et **Christa** ont créé non seulement des images proches du concept du paysage (comme dans « *Transplants* ») mais également des compositions expressives empruntant des méthodes au domaine scientifique de la vie artificielle. Leur sujet principal est, néanmoins, l'interactivité. Le paysage en tant que type de représentation, sensible, n'est pas traité esthétiquement ni conceptuellement. C'est une approche que j'ai pu fréquemment observer dans la représentation artistique de la vie artificielle : les images figurent la vie dans une composition de laboratoire, sous un **point de vue réduit et contraint, semblable à celui du microscope**. L'écran est souvent traité comme une cage, un bocal, une lame de microscope, un jardin qui limite l'évolution et le déplacement des entités vivantes virtuelles et où le spectateur joue le rôle du scientifique : il observe et expérimente un échantillon de formes virtuelles, comme une sorte de vie portable. Le sujet est porté dans le domaine artistique et traité artistiquement, mais le point de vue et l'esthétique restent très proches de ceux des laboratoires scientifiques. D'autres exemples d'art évolutionnaire ou « *Evolutionary Art* » sont listés sur le site de **Craig Reynolds** (Reynolds, s. d.) consacré à la computation évolutionnaire ou *Evolutionary Computing* (voir annexes [9]).

L'étude de la vie artificielle est prégnante dans ma démarche : la vie artificielle constitue le fondement technique et conceptuel de la perception scientifique de la vie et son étude permet d'envisager des interprétations artistiques de cette perception.

Les systèmes simples ou complexes, les concepts d'adaptation, d'évolution, d'auto-organisation ou de reproduction sont, entre autres, des thèmes présents dans l'histoire de la science et dans la quête de la compréhension de la vie. Comprendre est essentiel pour représenter, du moins quand le support de création technique est la programmation informatique, domaine où les règles et les comportements doivent être décrits dans les moindres détails pour déclencher la simulation de vie. Mais quand l'art numérique s'empare de la représentation de la vie, l'esthétique scientifique est encore présente, plus ou moins discrètement, comme l'était la mathématique au début des expérimentations artistiques sur support informatique. Cette hypothèse transforme la problématique initiale de cette recherche en défi, mais la rend plus pertinente. **Pourquoi et comment représenter un paysage virtuel évolutif ?** D'abord comme une façon d'étendre la perspective, l'espace et la possibilité d'explorer un environnement virtuel de vie artificielle, bien au-delà de la vision de laboratoire encore très présente dans l'interprétation artistique de la vie artificielle.

1.3.2 EXPÉRIMENTATIONS : « *Silky Way* »

Pour le premier projet intensif en licence 3 d'Arts et Technologies de l'Image, la proposition artistique de mon groupe était une installation interactive appelée « *Silky Way* » (cf. ill. 94, 95). L'idée était de générer des formes « vivantes » et autonomes à partir du contact physique entre les participants. Ces formes allaient peupler la surface de projection et ainsi montrer les relations créées pendant toute la durée de l'installation, comme si l'image était témoin de relations physiques entre les personnes. Celles-ci devaient se positionner de chaque côté d'une surface semi-transparente, de façon à ce que les projections apparaissent comme des présences fantasmagoriques émergeant du toucher. Pour cette mise en place, la représentation d'un paysage n'a pas été retenue. Mais cette idée serait intéressante à mettre en œuvre : la suggestion d'un espace infini et évolutif entre deux personnes est très symbolique et poétiquement riche.

L'installation n'a pas été achevée et est restée à l'état de prototype. Mais son concept et ses objectifs montrent l'intérêt du groupe dans le **registre temporel des relations, sous la forme d'entités numériques de comportement vivant**. Ce type de proposition d'insertion de systèmes réels (la relation physique entre les participants de l'œuvre) dans le fonctionnement du système virtuel sera traité plus loin, lorsqu'il s'agira de traiter les écosystèmes créatifs.



Illustration n° 91. *Silky Way*, (2015)

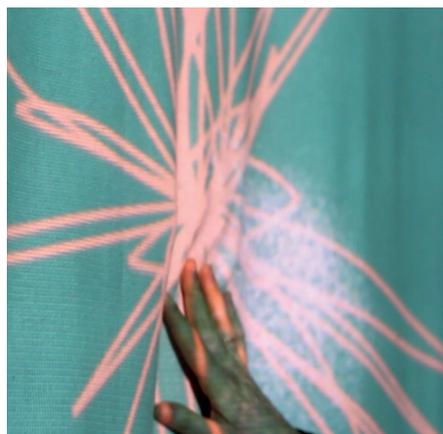


Illustration n° 92. *Silky Way*, (2015)

1.3.3 LA POSSIBILITÉ D'UN PAYSAGE : LES ÉCOSYSTÈMES VIRTUELS

« Le défi dans les écosystèmes virtuels est le design de l'environnement et de l'interaction entre les espèces à son intérieur. » (McCormack, 2012)

John McCormack, *Creative Ecosystems*

Après le succès de la première conférence sur la vie artificielle (*Artificial Life*), le sujet est devenu, peu à peu, un domaine officiel de recherche (ISAL, s. d.). Une des approches est l'étude des phénomènes biologiques en créant des écosystèmes virtuels (Heudin, 2008). Avec la vulgarisation scientifique, un deuxième champs de recherche a émergé : la computation évolutionnaire ou *Evolutionary Computing* (Reynolds, s. d.). Est ici étudiée, à partir de modèles de vie artificielle, l'adaptation comportementale par un processus évolutionnaire permettant aux agents de mieux s'ajuster à leur environnement, normalement homogène. Les modèles virtuels d'écosystèmes en revanche opèrent sur des échelles de temps plus courtes dans le but de s'adapter par des stratégies d'organisation et d'ajustement comportemental d'individus au sein d'une espèce. Cette forme de simulation est la conséquence des questions pratiques soulevées par les écologistes, pendant que les modèles de vie artificielle se concentraient sur des dynamiques évolutives abstraites. Dans les deux styles d'investigation, l'attention est portée sur des **macro phénomènes émergents de micro interactions** (McCormack, 2012).

L'étude des écosystèmes met en œuvre une interaction et une modification de l'environnement par des individus autonomes. A son tour, cet environnement sert de **ressource énergétique** et modifie aussi le **comportement et l'intégrité des individus**. Les relations ici présentes ne sont pas seulement celles, complexes, entre les entités vivantes mais aussi celles qu'elles établissent avec leur environnement physique, constamment changeant. Dans le concept et la définition des écosystèmes, il y a la notion de couches de complexité et de boucles de rétroaction qui rend l'adaptation de ses individus dynamique et éphémère. Comme dans les moments capturés par les peintres impressionnistes ou dans les compositions de paysage de **Turner**, quand les éléments se mélangent et que les phénomènes représentés montrent la relation entre tous ses composants.

En contraste avec *l'art évolutionnaire* (terme proposé par **Philip Galanter** pour caractériser la production artistique qui engage des algorithmes génétiques ou qui utilise les concepts et techniques de l'évolution darwinienne dans la création d'images (Galanter, 2010)), les écosystèmes proposent de la diversité d'espèces et d'individus en conflit de survivance et de reproduction à court terme, dans un large espace de mouvement et de ressources exploitables. Le sujet n'est pas l'amélioration d'une forme en compétition avec les autres mais l'organisation des formes pour l'émergence de **stratégies créatives** d'adaptation aux obstacles de l'environnement.



Illustration n° 93. Karl Sims, «Genetic Images», (1993)

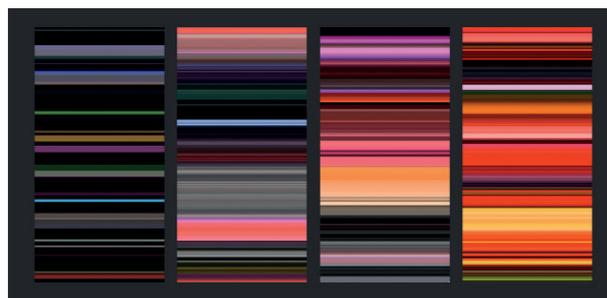


Illustration n° 94. Jon McCormack, «Colourfield», (2009/2010), Evolutionary Software Ecosystem

Les concepts extraits de la nature pour la création d'écosystèmes ou la simulation de processus évolutifs n'ont pas nécessairement pour but la visualisation ou la compréhension scientifique et littérale de formes qui nous rappellent aussi la nature. **Karl Sims** utilise des concepts de sélection et d'adaptation naturelles (exemple d'art évolutionnaire) dans l'installation « *Genetic Images* » (1993) (Sims, s. d.) (cf. ill. 96) sans reproduire de contexte ni de comportement vivant réaliste. L'image évolue interactivement selon l'attention portée par les spectateurs, mesurée par le temps passé à l'observer. **John McCormack** utilise des concepts de compétition pour les ressources et les échanges entre individus et environnements (exemple d'écosystème) dans l'expérimentation « *Colourfield* » (2009/2010) (McCormack, 2007) (cf. ill. 97) dans laquelle il utilise des données issues de l'historiographe colorimétrique de l'image comme environnement source d'énergie vitale pour les individus représentés par des barres de couleurs.

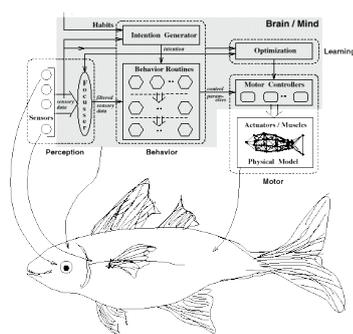


Figure 1: Control and information flow in artificial fish.

Illustration n° 95. X. Tu and D. Terzopoulos, «Control and information flow in artificial fish»



Illustration n° 96. Maciej Komosinski & Szymon Ulatowski, «Framsticks»

Les projets « Framsticks » (Ulatowski & Komosinski, s. d.) (cf. ill. 99) de **Maciej Komosinski** et **Szymon Ulatowski** et « Artificial Fishes » (1994) (Tu & Terzopoulos, 1994) (cf. ill. 98) de **Xiaoyuan Tu** et **Demetri Terzopoulos** sont des exemples importants de recherches. Il s'agit de plates-formes informatiques qui permettent la visualisation et l'étude de concepts évolutifs par le biais de la computation graphique au sein des environnements physiques (Framsticks, 2014) et visuellement travaillés (xiaoyuantu, 2006). Ils sont identifiés comme des

projets de vie artificielle et d'écosystèmes mais ont été créés lors de recherches scientifiques et non pas artistiques. Ces travaux constituent des recherches qui offrent, stimulent et soulèvent des questions esthétiques et poétiques par rapport au sujet de la vie artificielle dans un cadre d'hybridation de desseins scientifiques et créatifs.

La création scientifique, artistique ou hybride de ces deux domaines montrent l'intérêt de l'observation de l'évolution et de l'adaptation d'entités virtuelles dans un environnement. Mais le concept de paysage n'y est pas présent. Les expérimentations visuelles d'écosystèmes, bien que composées de paysages pour représenter les environnements dans lesquels les échanges vitaux se passent, ne les traitent pas comme un sujet à part entière. Les individus et leur trajectoire comportementale sont les sujets d'attention et le recul contemplatif et poétique qui transforme le paysage en matière artistique n'est pas présent. Ce recul, cet éloignement serait un point de vue symbolique face à la nature, opposé à celui centré sur des individus de « laboratoire », vestige probable de la culture scientifique dans l'acte artistique.

Pourtant, l'utilisation non-littérale et symbolique de l'*evolutionary computation* (dans les œuvres « *Genetic Images* » et « *Colorfield* ») ainsi que la présence de l'environnement comme participant de la dynamique d'adaptation dans les projets d'écosystèmes (« *Framesticks* » et « *Artificial Fishes* ») donnent des pistes critiques et motivantes à explorer dans le cadre de la présente recherche. Ils éprouvent la volonté d'**expérimentation visuelle et esthétique avec les concepts de la vie artificielle** et démontrent que **le paysage, en tant que représentation d'un ensemble systémique complexe et vivant, a sa place dans la quête de compréhension et d'expression de la vie contemporaine**. On voit aussi que la science reste un partenaire de l'art, de plus en plus absorbé par lui, dans le registre et le positionnement poétique de la sensation humaine d'appartenance d'un ensemble appelé « vie ». Le paysage virtuel évolutif apparaît comme une continuation, un résultat, un changement de focus et de perspective par rapport à ce sentiment d'appartenance, en utilisant les techniques et méthodes développées par la science de la vie artificielle.

1.3.4 LES PAYSAGES VIRTUELS ÉMERGENTS

Les manifestations scientifiques et artistiques autour du sujet de la vie artificielle, aussi variées soient-elles, ont pour trait commun la propriété de **l'émergence de comportements**. Cette propriété implique l'imprévisibilité et l'innovation de phénomènes constatés dans les environnements vivants évolutifs et adaptatifs, réels et virtuels. L'émergence apparaît quand un comportement d'un ou plusieurs individus produit un motif plus complexe que la somme de ses composants, à une échelle supérieure d'observation et de représentation. Comme un être humain comparé aux cellules qui le constituent. Dans la nature, l'émergence est identifiée à

plusieurs niveaux, aussi bien sur une échelle évolutive (longue durée d'adaptation, comme dans le changement des formes et fonctions d'un organisme) qu'à l'échelle d'un écosystème (courte durée, comme dans les stratégies d'adaptation comportementale à un environnement changeant acquises par apprentissage). Il en résulte de la variété, de l'innovation et de la créativité auto-générative.

Philip Galanter évoque une problématique dans l'utilisation de l'émergence dans l'art évolutionnaire. Dans la quête de la création et de la théorisation d'images virtuelles évolutives, il expose que l'émergence résultant d'un seul niveau de complexité n'est pas suffisante. Pour qu'une forme puisse se complexifier comme dans la réalité, il faudrait plusieurs couches de systèmes en train de s'organiser, d'apprendre et d'évoluer, comme les cellules, les tissus, les organes, les individus, les sociétés. L'organisation de systèmes complexes en plusieurs niveaux fait défaut dans l'art évolutionnaire qui ne s'occupe généralement que d'une couche d'émergence et finit par obtenir un échantillon de résultats esthétiquement similaires, sans innovation (Galanter, 2010). L'intérêt de l'utilisation des concepts de la vie artificielle dans l'art est alors diminué par l'interprétation incomplète des principes autonomes et créatifs de la vie et ses possibles effets dans le développement d'une esthétique virtuelle comparable à la complexité des dynamiques réelles dans la nature.

John McCormack parle aussi de l'émergence créative dans le milieu virtuel, cette fois en rapport avec l'environnement d'un écosystème. Son étude exploite le **potentiel d'apparition de stratégies à partir de l'interaction des systèmes avec l'environnement** au sein duquel ils se développent et avec lequel ils forment un contexte créatif à plusieurs niveaux de complexité. Il considère aussi la fusion des systèmes virtuels et réels à travers l'interaction entre l'homme et l'écosystème numérique (McCormack, 2012), dans une sorte de seconde interactivité (Couchot *et al.*, 2003).

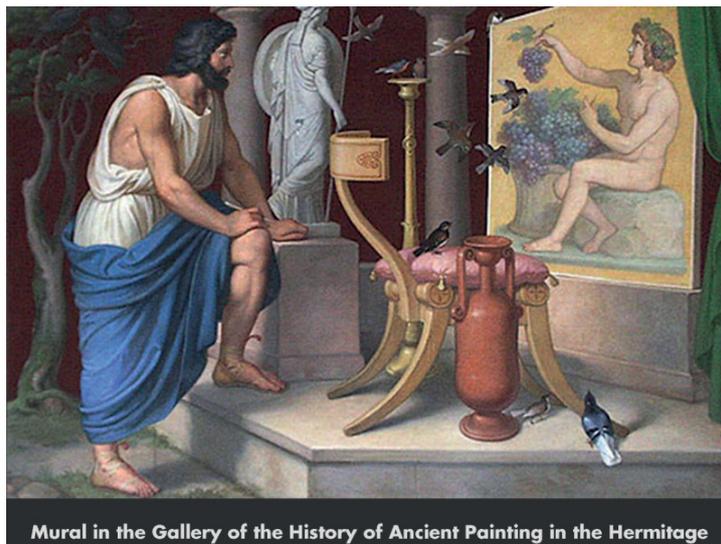
Dans une perspective « *top-down* » (de l'essentiel aux particularités), l'idée d'un paysage virtuel évolutif présuppose, avec ambition et curiosité, la représentation artistique d'un contexte numérique où l'émergence esthétique et créative serait possible grâce à la considération des notions de diversité de niveaux de complexité et d'un environnement propice à l'interaction entre et avec des systèmes complexes. Sous une approche « *bottom-up* » (du détail à l'ensemble), la création d'un écosystème virtuel qui intègre des dynamiques issues de l'étude de la vie artificielle pourrait avoir un paysage expressif comme phénomène esthétique, créatif et, pourquoi pas, poétique comme résultat émergent.

1.3.5 VERS UNE MÉTHODOLOGIE

« Nous aimerions concevoir des modèles qui sont si semblables au vivant qu'ils cesseraient d'être des simulations de la vie pour en devenir des exemples. » (Heudin, 2008)

Jean-Claude Heudin cite Christopher Langdon , Les Créatures Artificielles

Le discours de **Langdon** concerne des modèles de vie artificielle, mais évoque le récit grec sur le « duel pictural » entre les peintres Zeuxis et Parrhasius (Idixa, s. d.) (le défi consistait à peindre la scène la plus réaliste à travers la démonstration de leur maîtrise de la représentation de la réalité en peinture) (cf. ill. 100). C'est un exemple parmi d'autres du phénomène de la **quête de perfection et de la précision technique** sur le fondement de concepts scientifiques, dans la représentation artistique. Cette obsession pour le réalisme est pourtant en principe suivie d'une réaction créative qui tend vers la subjectivité, la perception sensorielle à la place de la perception scientifique, vers des thématiques mystiques et psychologiques, l'expressivité et le rêve.



Mural in the Gallery of the History of Ancient Painting in the Hermitage
Illustration n° 97. Illustration de l'histoire de Zeuxis et Parrhasius
Mural à la Galerie d'histoire de peinture ancienne, State Hermitage Museum, St Petersburg

Les questionnements et réponses techniques et conceptuels originels dans le domaine scientifique de la vie artificielle atteignent la création artistique pour être interprétés, représentés, critiqués, transformés. Comme d'autres perceptions humaines sur l'environnement et sur l'existence l'ont fait, en partant d'un point de vue objectif et prudent pour aller vers une attitude artistique originale et poétique. **Comment cette progression de la sensibilité artistique, par rapport aux manœuvres esthétiques et informatiques impliquées dans la simulation de la vie, se réalise-t-elle ?**

« Je voyais l'évolution comme un processus créateur, l'instrument essentiel pour faire quelque chose à partir de rien. » (Heudin, 2008)

Jean-Claude Heudin cite John Holland, Les Créatures Artificielles

Avec cette citation, j'en termine avec cet état de l'art sur la représentation du paysage et ses potentialités en tenant compte du contexte de création de l'art numérique et de la voie conceptuelle et technique de la vie artificielle. **John Holland**, une personnalité dans le domaine du développement des algorithmes génétiques, avait une vision de l'évolution semblable à la pratique artistique comme action humaine ultime de création à partir du rien (du non-art), de transformation, de réinterprétation. Par la méthodologie suivante, je transmets mon apprentissage des notions présentes dans le champs de la vie artificielle, poursuivant le but de la représentation expressive et sensible de l'infinité d'un paysage vivant, génératif et autonome, à partir du rien numérique, où le rêve et le mystère peuvent habiter.

2. ÉLÉMENTS D'UN PAYSAGE

Au moment d'aborder la réflexion sur les techniques à mettre en œuvre pour créer un paysage virtuel en temps réel, le choix de la méthodologie s'est porté sur l'étude et l'expérimentation selon les techniques proposées dans le livre « *The Nature of Code* » (Shiffman, 2012) de **Daniel Shiffman** (Shiffman, s. d.). Les concepts tirés de cet ouvrage étaient un point de départ formel dans l'organisation d'un espace virtuel chargé de propriétés physiques et d'éléments réactifs, générés en temps réel. Les connaissances ainsi acquises au cours des expérimentations menées pour obtenir la composition du paysage souhaitée ont permis d'approfondir certaines notions scientifiques.

Le défi de la construction d'un paysage virtuel génératif en temps réel réside dans le concept même de la technique générative de création des formes : il s'agit d'élaborer des règles qui mèneront à une composition spécifique. **Quelles règles forment un paysage ?** A partir de cette question, j'ai opté pour le chemin, certes le plus long, qui consiste à penser le paysage en partant du détail pour aller vers l'ensemble (le concept « *bottom-up* »). C'est une voie proposée par le livre de **Shiffman** précité. Cette approche n'est pas sans risque : privilégier une grande quantité de détails est techniquement compliquée à gérer en temps réel, surtout si l'idée est de créer un écosystème où tout élément est en constant changement, en recherche d'adaptation. Un équilibre entre les détails des individus et la dynamique systémique sera dès lors constamment recherché lors de l'élaboration de la méthodologie, tout comme **l'équilibre entre contrôle et imprévisibilité des formes générées**.

L'étude des propriétés des individus (ou agents) d'une végétation est certes importante pour l'exploration visuelle, avec ses possibilités réalistes et non-réalistes, adaptatives et évolutives. Cette importance est toutefois relative lors du processus de création d'un paysage car le spectateur, qui a un point de vue distant sur le paysage, va s'attacher à l'organisation et à l'interaction de l'ensemble plutôt qu'aux détails. Dans le champs de la computation graphique, les objectifs de l'expérimentation, les résultats visuels comme les méthodes utilisées diffèrent selon le point de vue (Deussen & Lintermann, 2005). Compte tenu de la différence d'approche méthodologique entre la création de plantes et la conception d'un paysage et de l'intérêt technique et artistique que je porte aux deux, seront exposées dans ce chapitre, sans but pédagogique ni didactique, différents procédés expérimentés par curiosité. Des références bibliographiques seront précisés pour qui souhaiterait mieux connaître ces procédés.

2.1 AGENTS MATHÉMATIQUES, DYNAMIQUES ET PHYSIQUES

Quelques concepts mathématiques ont été étudiés lors de mes recherches créatives afin de mieux appréhender les moyens disponibles en programmation graphique pour construire, contrôler et manipuler des formes virtuelles. L'environnement informatique en trois dimensions étant basé sur des règles et des notions mathématiques, encore fallait-il les connaître avant d'envisager de programmer des formes vivantes. Ces règles, et principalement celles liées à la représentation de phénomènes naturels, ont été étudiées et expérimentées.

2.1.1 LE CONTRÔLE DE L'ALÉATOIRE

L'aléatoire est observé dans une séquence numérique quand l'ordre et les motifs semblent manquer. Des événements aléatoires se caractérisent par l'équiprobabilité d'apparition de tous les résultats possibles. La théorie mathématique des probabilités, pourtant, permet une distribution contrôlée des possibilités, en conservant la notion de hasard mais en prévoyant, pour dans un échantillon donné, la variation de résultats ou la tendance des possibilités (Pasquier, s. d.). Cette notion de choix selon une probabilité aléatoire est utilisée en computation graphique comme une génération automatique de décisions cinétiques ou de propriétés graphiques. Divers phénomènes empiriques dans la nature sont susceptibles d'être mesurés et caractérisés comme des distributions de probabilité. Ce type d'algorithme est intéressant dans la modélisation de formes ou événements « organiques » (trouvés dans la nature) (Pasquier, s. d.). Le contrôle de l'aléatoire permet d'avoir une prise de décision algorithmique qui, tout en autorisant de la variété dans les possibilités numériques, les rend prévisibles et maîtrisables.

Cette méthode mathématique a été utilisée, initialement, comme règle de déplacement des individus virtuels, pour observer les différents types de motifs tracés par leur mouvement et analyser quels types d'attitudes vivantes expriment ses algorithmes.

2.1.2 EXPÉRIMENTATIONS

- **Distribution aléatoire**

La distribution aléatoire a été appliquée dans le choix de la direction de déplacement d'une forme géométrique dans l'espace 3D virtuel. Les options de directions étaient : x, -x, y, -y, z, -z et 0. Toutes les directions avaient la même probabilité d'être choisies et la distance parcourue, dans le cas de ces expérimentations, était toujours la même. Dans un premier test, les directions ont été choisies une à une (1/60 par seconde), en éliminant l'éventualité d'un mouvement en diagonale. Comme les angles de déplacement étaient toujours de 90 degrés, le mouvement était très géométrique et paraissait synthétique (et donc pas organique). L'algorithme a donc été modifié de façon à choisir trois directions de suite avant de dessiner l'élément. Chaque déplacement prenait alors en compte un chiffre, entre -1 et 1, par axe, ce qui a permis des mouvements d'angles différents.

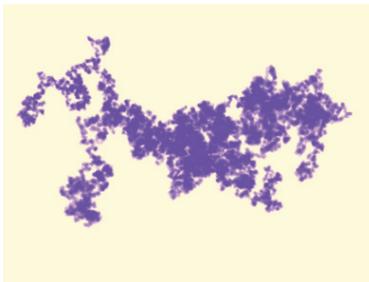


Illustration n° 98. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Distribution aléatoire, Random Walker (un agent)

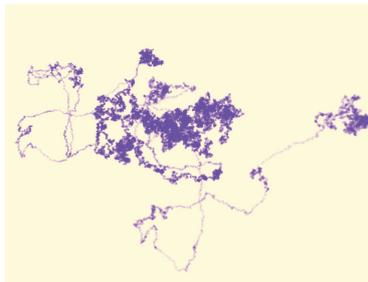


Illustration n° 99. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Distribution aléatoire, Random Walker (un agent + manipulation de la caméra)

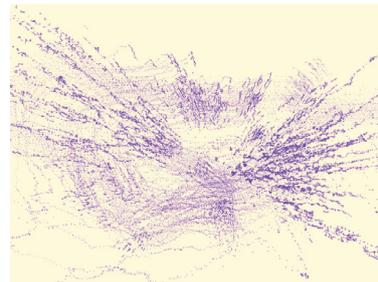


Illustration n° 100. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Distribution aléatoire, Random Walker (50 agents + manipulation de la caméra)

La manipulation de la matrice de la caméra virtuelle permet d'avoir une interactivité gestuelle similaire à celle du dessin. Les tracés laissés par les éléments en déplacement aléatoire s'ajoutent à celui du déplacement de la matrice guidé par la souris. On peut constater que ce type de mouvement s'approche de **l'idée de paysage** : la notion de **profondeur** est plus claire (construite avec le *zoom in* et *zoom out*) à travers la différence de taille des éléments. On retrouve alors un **premier mélange esthétique entre geste interactif exogène et comportement autonome endogène du programme.**

- **Probabilité et distribution non-uniforme**

L'utilisation des techniques de probabilité est une façon d'obtenir une tendance arbitraire de résultats, sans exclure les autres possibilités. Cette tendance peut être imposée de diverses formes. Plusieurs expérimentations de mouvement ont été déroulées. La première utilisait comme donnée un produit décimal choisi aléatoirement entre 0 et 1, une condition de probabilité et une direction en sortie. Dans l'expérimentation, plusieurs éléments se déplaçaient dans l'écran selon des directions aléatoires, cependant, une instruction de probabilité les conduisait vers le haut.

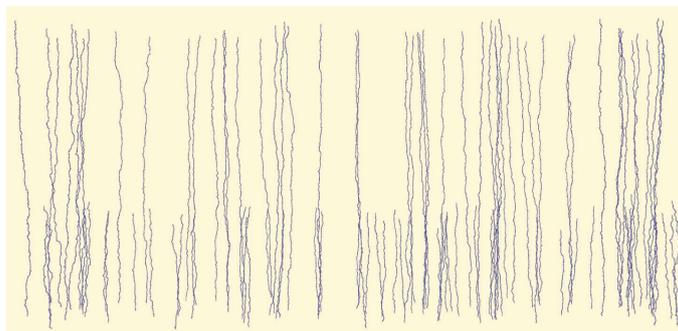


Illustration n° 101. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Probabilité et distribution uniforme, Random Walker

Cette technique a permis de s'approcher de la représentation de quelque chose de **vivant** par l'impression d'une **force environnementale** ou de la volonté des éléments de se mouvoir avec imprécision vers une **direction précise**.

- **Distribution normale ou distribution Laplacienne / Gaussienne**

La **distribution gaussienne** ou distribution « normale » est un type de probabilité de chiffres qui se regroupent autour d'une moyenne (le « *mean* » ou moyen terme). Une courbe est générée par la fonction mathématique qui définit la probabilité d'occurrence d'un nombre donné par rapport au milieu terme et à un écart-type (« *standard deviation* »).

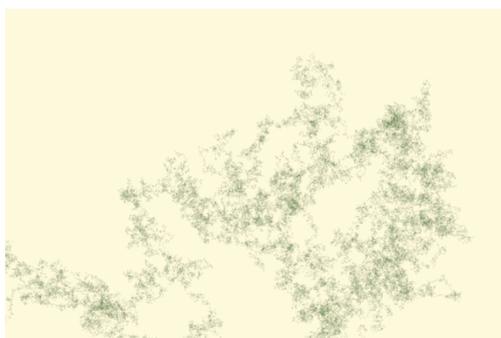


Illustration n° 102. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Distribution normale ou distribution Laplacienne / Gaussienne, Gaussian Walker (2 agents 20% transparents)



Illustration n° 103. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Distribution normale ou distribution Laplacienne / Gaussienne, Gaussian Walker (20 agents 20% transparents + manipulation de la caméra)

Dans ce test, j'ai utilisé la probabilité gaussienne pour définir la distance parcourue par les éléments qui se déplacent à chaque image. Le moyen terme étant à 1, **l'écart-type à 3 et l'opacité du élément à 20 %**, on peut observer des zones de saturation de couleur qui indiquent la concentration du mouvement et des déplacements plus courts. Par la variation gaussienne des distances de parcours et la visualisation par la couleur, les traits laissés par les éléments montrent une variation du mouvement différente des antérieures. Les distances entre deux positions changent selon la fonction gaussienne et se distribuent dans l'écran de façon à varier entre une concentration du mouvement et un long déplacement. **Comme un animal qui recherche des indices du passage d'autres animaux lors d'une balade.** Il parcourt un long chemin, s'arrête pour explorer et puis se déplace un peu plus loin.

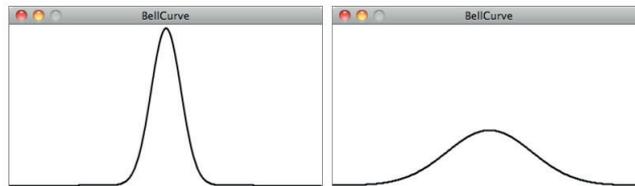


Illustration n° 104. Daniel Shiffman, démonstration de la courbe de Bell, ou courbe gaussienne, «The Nature of Code»

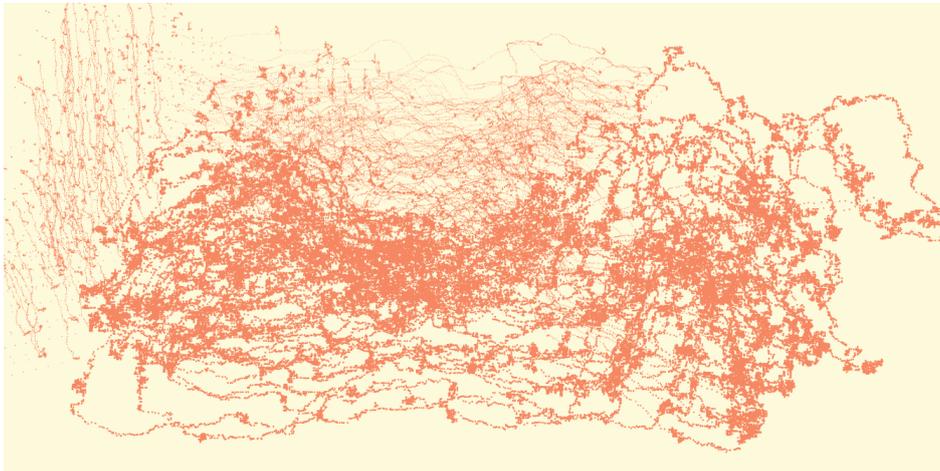


Illustration n° 105. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Distribution normale ou distribution Laplacienne / Gaussienne, Gaussian Walker (20 agents opaques + manipulation de la caméra)

- **Distribution Monte Carlo ou personnalisée**

Bien que le mouvement produit avec la probabilité gaussienne (similaire au **mouvement brownien**) présente avec celui des organismes vivants certaines similitudes et qu'un algorithme intégrant cette règle pourrait être retenu, **Daniel Shiffman** suggère une autre méthode pour simuler ce type de comportement. Pour éviter du sur-échantillonnage (« *oversampling* ») d'endroits visités par l'élément dans un environnement, **l'algorithme de Monte Carlo** (nom tiré du célèbre casino Monte Carlo à Monaco) ou **Lévy Flight** pourrait être utilisé. Avec cette méthode, des chiffres aléatoires sont retenus pour qualifier la probabilité d'un événement, comme une stratégie optimale de recherche de solutions distribuées de manière hasardeuse. Dans le cas de cette expérimentation, la distance parcouru par l'élément est définie de façon à établir qu'une distance plus longue a plus de chances d'être choisie.

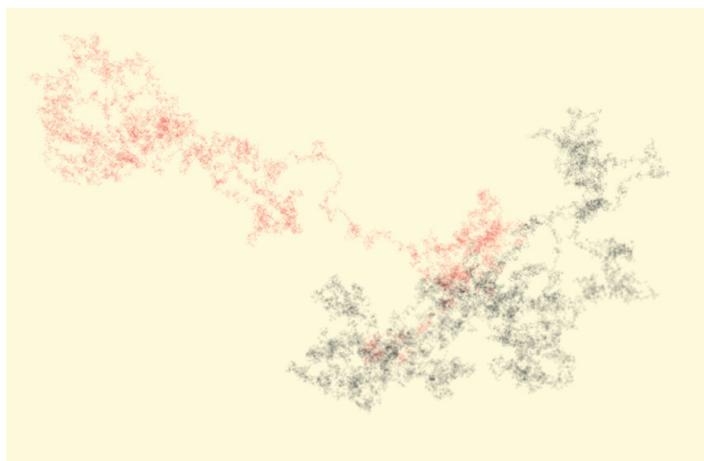


Illustration n° 106. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Distribution Monte Carlo ou personnalisé, Monte Carlo Walker (agent noir: progression linéaire, agent rouge: progression géométrique)

Ces expérimentations montrent une exploration **optimisée** et **moins concentrée** dans l'espace, ce qui suggère un individu avec un **objectif** ou une **pulsion**, à la différence d'un mouvement complètement aléatoire.

- **Le bruit de Perlin (*Perlin Noise*)**

Le bruit ou *noise* apparaît quand tous les éléments d'une séquence d'informations qui servent comme un signal sont choisis de manière aléatoire. Les types de bruits dépendent de la corrélation entre les valeurs de la séquence (Pasquier, s. d.). Le bruit de **Perlin**, portant le nom de son inventeur, **Ken Perlin**, est un type de bruit d'apparence naturelle, pour générer une série régulière, harmonieuse, douce (*smooth*) de valeurs (Shiffman, 2012) au long du graphique spectral produit par la séquence (cf. ill. 110).

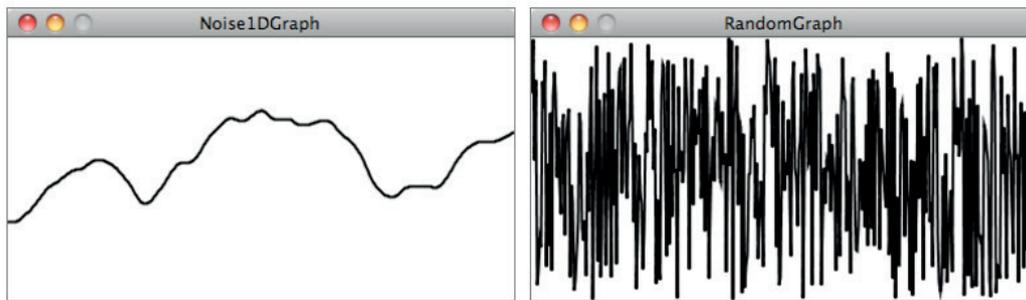


Illustration n° 107. Daniel Shiffman, comparaison entre le spectre de bruit et de valeurs aléatoires, «The Nature of Code»

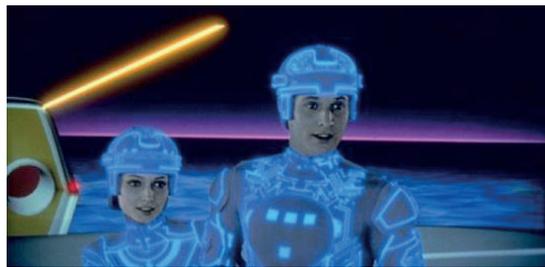


Illustration n° 108. Disney, «Tron», (1982)

Ken Perlin a développé ce type de bruit pour le film « *Tron* » dans les années 80 afin de produire des textures pour des effets spéciaux générés par ordinateur. En 1997, il a remporté l'Oscar de réalisation technique pour ses travaux pour l'industrie du cinéma. Le bruit de **Perlin** peut être utilisé pour générer une variété d'effets de qualité naturelle comme des nuages et des motifs de texture comme le marbre ou les paysages (cf. ill. 111).

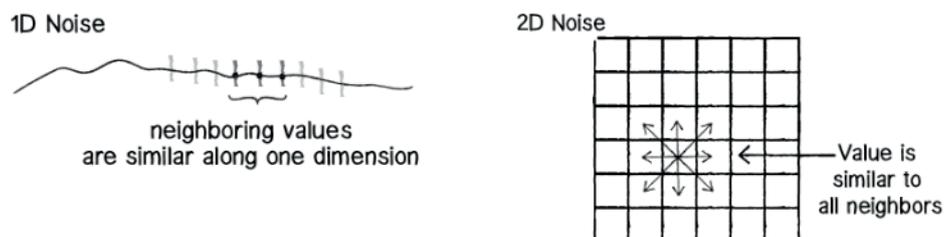


Illustration n° 109. Daniel Shiffman, relation entre valeurs adjacentes dans le bruit de Perlin, «The Nature of Code»

Pour réaliser toutes les expérimentations décrites, j'ai utilisé **Openframeworks** (voir annexe [10]). Dans ce module de programmation en C++, une fonction permet de calculer et de donner des valeurs fondées sur le bruit de **Perlin**, comme pour les valeurs aléatoires. Pourtant, alors que la fonction aléatoire génère des résultats qui prennent en compte comme limite des paramètres de minimum et maximum, la fonction de bruit de **Perlin** reçoit des variables avec des instructions différentes de façon à toujours retourner des valeurs comprises entre 0 et 1. Cela est dû à la propriété multidimensionnelle du bruit. Pour avoir une séquence de valeurs de bruit

$f(x)$ dans une dimension, le x doit être un chiffre incrémental. La valeur d'incrémental définit le saut entre une valeur du signal et une autre, et, par conséquence, **indique la différence entre ces valeurs et le niveau de modération de la séquence du bruit** (cf. ill. 112). Si l'itération se fait avec des valeurs très basses, le bruit sera plus uniforme et plus doux. Dans le cas contraire, il sera plus contrasté et la variation sera plus évidente.



Illustration n° 110. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Bruit de Perlin (Perlin Noise), Test avec un bruit en 2D

Le bruit de **Perlin** a été originalement conçu pour produire des données en deux dimensions, comme des textures. Cela peut être complété en donnant deux variables incrémentales comme paramètres de la fonction en C++. De cette manière, le bruit va retourner une valeur par rapport à une grille $f(x,y)$ et non pas à une ligne comme c'est le cas en contexte unidimensionnel.



Illustration n° 111. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Bruit de Perlin (Perlin Noise), Test avec un bruit en 1D (petite itération en X)

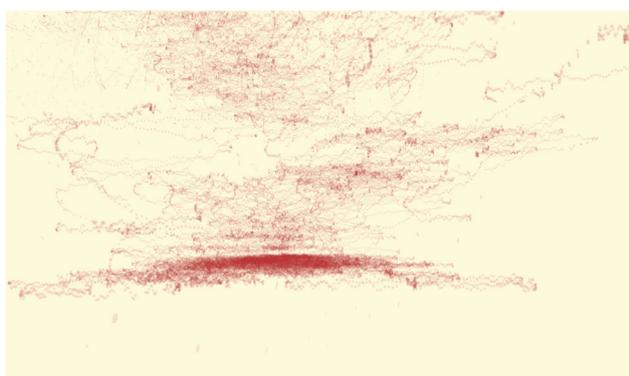


Illustration n° 112. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Bruit de Perlin (Perlin Noise), Test avec un bruit en 1D (grande itération en X)

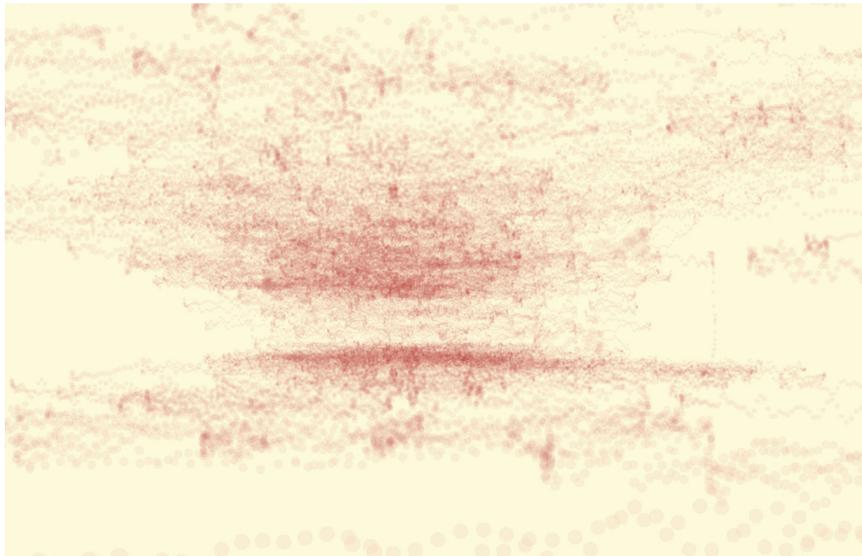


Illustration n° 113. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Bruit de Perlin (Perlin Noise), Test avec un bruit en 1D (grande itération en X)

Pour l'étude du mouvement d'un individu virtuel avec les données issues du bruit de **Perlin**, je l'ai utilisé dans sa version à une dimension, calculé avec trois valeurs incrémentales différentes ($f(x)$, $f(y)$, $f(z)$). Chaque résultat est appliqué à un axe différent (x , y , z).

C'est peut-être parce que le bruit de **Perlin** est souvent utilisé pour modéliser des **formes** plutôt que des **comportements** dans la nature que les tests animés montrent des tracés qui ressemblent plus à des reliefs ou à des paysages montagneux qu'à des êtres vivants. Les valeurs retournées par ce type de bruit (où les valeurs s'appliquent à la distance à parcourir par un agent) ont deux caractéristiques qui ne sont pas compatibles avec l'expérimentation en cours :

- i. ils sont de nature **pendulaire**, **oscillatoire**, ce qui ne convient pas pour simuler le déplacement d'un être virtuel vivant sur un écran ;
- ii. la proximité entre les valeurs voisines, dans le cas d'une incrémentation faible de x dans $f(x)$, provoque des mouvements étalés sur l'écran mais trop géométriques, avec des angles précis, pendant qu'une incrémentation plus importante provoque une concentration du mouvement et un déplacement trop rapide pour paraître naturel.

La version en troisième dimension de ce bruit sera étudiée et appliquée en rapport avec le mouvement et le comportement des agents virtuels ultérieurement avec l'expérimentation sur le **champs de forces ou de vecteurs**.

2.1.3 PHYSIQUE, TRIGONOMETRIE ET SYSTEMES SIMPLES

A l'exception de recherches plus récentes (Pirk *et al.*, 2016) sur la modélisation de végétation en considérant des **facteurs environnementaux** (le vent, la gravité, entre autres), les forces ne sont pas considérées dans la modélisation géométrique des plantes. Pourtant c'est une connaissance souvent utilisée dans la modélisation du comportement d'individus virtuels abordant la notion du vivant et c'est aussi une notion qui relie ces individus à l'environnement à travers l'utilisation du concept des forces.

Ce concept est utilisé lors des expérimentations comme une option au bruit et à l'aléatoire pour guider, modifier et influencer le mouvement d'agents et de modèles numériques. Chaque agent, en tant qu'objet (en langage orienté objet) et ayant des propriétés de position, de vitesse et d'accélération, subit des forces présentes dans son environnement informatique. Pour modéliser ces forces, les comportements des individus et le comportement des groupes d'individus dans un contexte d'interaction virtuelle constante, seront respectivement mises en œuvre des notions issues de la physique, de la trigonométrie et de la gestion informatique des systèmes simples.

2.1.4 EXPÉRIMENTATIONS

- **Forces et simulation de phénomènes physiques issues des trois lois de Newton**

L'application de forces dans le programme a été faite selon une interprétation algorithmique de la deuxième loi de Newton : « *Force égale à masse fois accélération* » où la variable force est une valeur directement proportionnelle à l'accélération et inversement proportionnelle à la masse. La force modifie l'accélération de l'individu, celle-ci modifie la vitesse qui à son tour change constamment la position. De cette manière, le mouvement de l'individu peut être influencé par une ou plusieurs forces accumulées dans l'environnement virtuel.

Dans le cas des expérimentations suivantes, la force ainsi que les propriétés de position, vitesse et accélération des objets cinétiques programmés sont représentées algorithmiquement par des **vecteurs mathématiques**. Les calculs physiques réalisés suivent donc la logique des vecteurs euclidiens, ou des vecteurs géométriques, comme entités avec la magnitude et la direction (Shiffman, 2012).

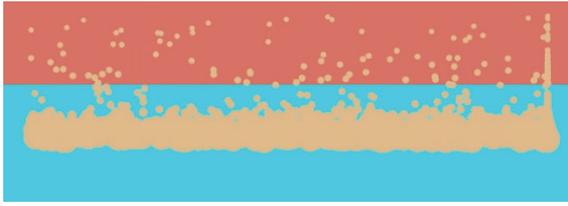


Illustration n° 114. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Forces et simulation de phénomènes physiques issues de trois lois de Newton, Test de forces (friction + gravité + résistance liquide)



Illustration n° 115. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Forces et simulation de phénomènes physiques issues de trois lois de Newton, Test de forces (friction + gravité + résistance liquide + attraction gravitationnelle)

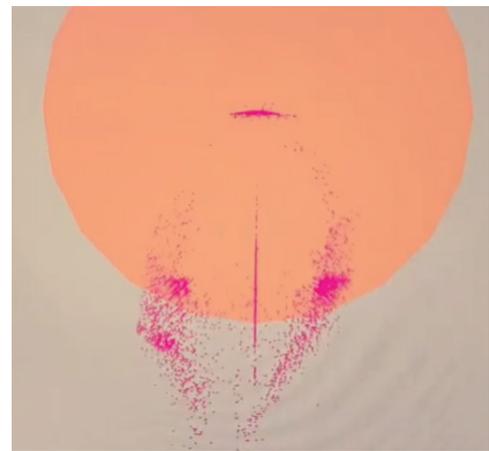
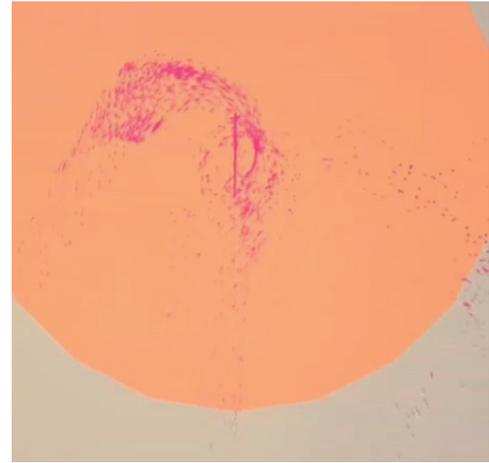


Illustration n° 116. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Forces et simulation de phénomènes physiques issues de trois lois de Newton, Test de forces (friction + gravité + attraction gravitationnelle)

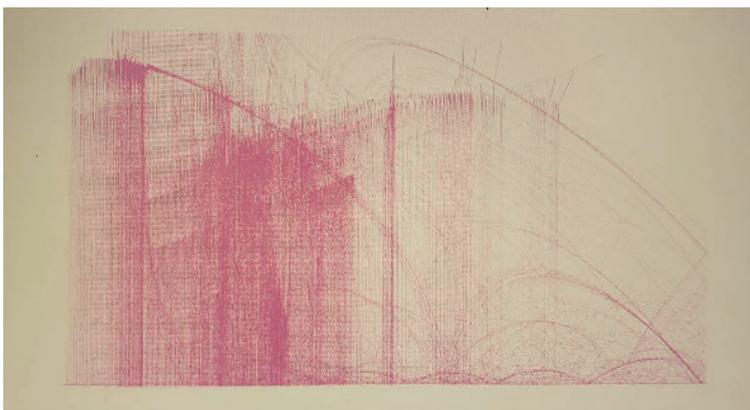


Illustration n° 117. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Forces et simulation de phénomènes physiques issues de trois lois de Newton, Test de dessin avec les forces interactives (friction + gravité + attraction gravitationnelle)

Dans les expérimentations montrées, les individus sont influencés par une force positive équivalente à la gravité, par la force négative de friction (force dissipative qui diminue l'énergie totale d'un système quand l'objet est en mouvement) et par la force de résistance observée dans l'air et dans les fluides. Une deuxième version de la gravité est aussi utilisée comme une force d'attraction. Elle a été instanciée dans la position de la souris sur l'écran.

Ces expérimentations, réalisées au début de mes études sur la modélisation d'une perception de l'environnement, permettent la modélisation physique d'un contexte virtuel où les éléments commencent à montrer des comportements et des propriétés interactifs. A ce stade, la simulation physique est appliquée dans les cas présentés pour examiner le comportement et le mouvement de matières inanimées, mais présentes dans un contexte physique.

La compréhension de concepts trigonométriques (mathématique des triangles) donne quelques outils importants pour la modélisation de comportements en informatique comme la vitesse et l'accélération angulaire et les concepts de sinus et cosinus (utilisés couramment dans la caractérisation d'animations en computation graphique). La trigonométrie permet aussi le calcul de forces plus complexes dans un environnement physique, impliquant des angles, comme le mouvement pendulaire et les impacts des forces sur la rotation des objets selon leurs formes (comme une boîte glissant vers le bas d'une pente).

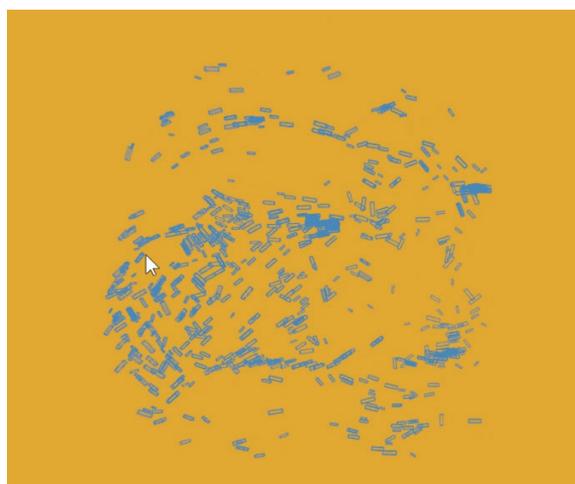
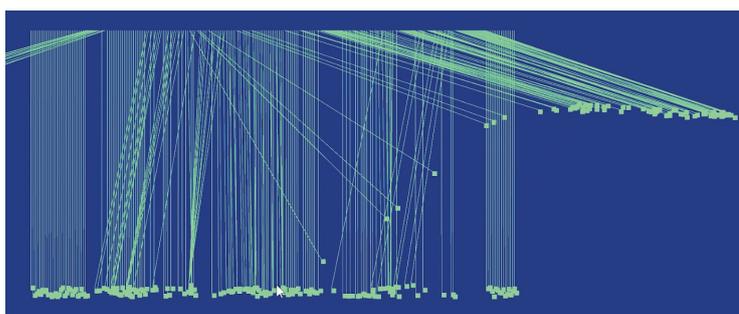


Illustration n° 118. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Forces et simulation de phénomènes physiques issues de trois lois de Newton, Application du calcul de vitesse angulaire des agents (rotation selon la direction de la vitesse)

Dans cette expérimentation, les agents dynamiques sont attirés par la position de la souris sur l'écran. Avec le calcul de la vitesse et de l'accélération angulaire, l'angle des rectangles (qui représentent les agents) est adapté à la direction de la vitesse (influencée par la force d'attraction). Cet angle est calculé à partir de l'arc de la tangente des composants en x et y du vecteur de la vitesse de l'agent.

Illustration n° 119. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Forces et simulation de phénomènes physiques issues de trois lois de Newton, Pendules interactifs



Dans cette expérimentation, une séquence de pendules interactifs a été modélisée. Le comportement est conditionné par le calcul d'une accélération angulaire (qui inclut comme variables la gravité et la longueur du « bras » qui attache le pendule) et avec une force de résistance qui ralentit sa vitesse.

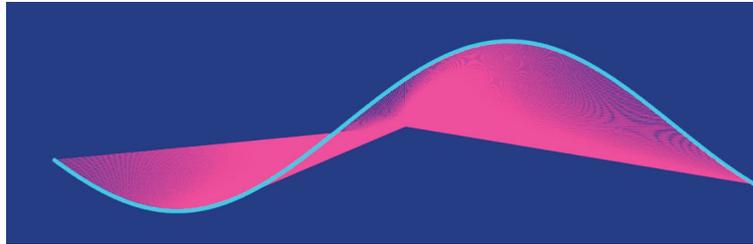


Illustration n° 120. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Forces et simulation de phénomènes physiques issues de trois lois de Newton, Contrôle et manipulation d'une ondulation avec amplitude et période interactifs

Pour représenter un cycle entier d'une ondulation sur l'écran, la période n'est pas interprétée en tant que propriété temporelle mais comme une propriété spatiale, caractérisant la position du pixel en y des agents. La position x est définie par la position en x par rapport à y, selon la fonction du sinus du pixel correspondant ($x = f(\sinus \text{ de } y)$).

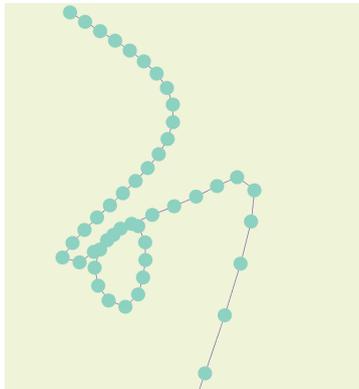


Illustration n° 121. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Forces et simulation de phénomènes physiques issues de trois lois de Newton, Test interactif de la force d'élasticité

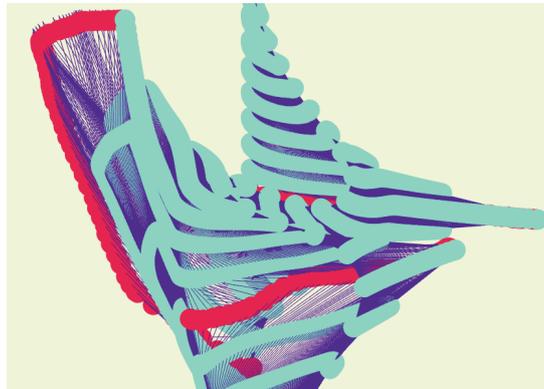


Illustration n° 122. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Forces et simulation de phénomènes physiques issues de trois lois de Newton, Test interactif du tracé de la force d'élasticité

Cette expérimentation applique la loi de Hooke (d'après **Robert Hooke**), loi de proportionnalité entre la force de rebond élastique et l'extension de l'élastique en lui-même (« *as the extention, the force* » (Shiffman, 2012)). Des cercles interactifs sont liés les uns aux autres de façon à ce que, lorsque l'un d'entre eux, sélectionné par la souris, est déplacé par un mouvement de souris, les autres sont attirés vers la même direction. Cette **attirance** est due à la **force de traction** de l'élément sélectionné qui se propage vers les autres éléments. Le système d'éléments connectés par une force élastique introduit plusieurs principes de simulation comme la logique des tissus et la propriété de cohésion et d'adhésion des fluides.

- **Systèmes de particules avec des forces**

« Un système de particules est une collection de plusieurs particules dont l'ensemble représente un objet flou. Après une période de temps, des particules sont générées dans un système, se déplacent et sont modifiées depuis l'intérieur du système, et meurent du système. »

« A particle system is a collection of many many minute particles that together represent a fuzzy object. Over a period of time, particles are generated into a system, move and change from within the system, and die from the system. » (Reeves, 1983)

William Reeves, «Particle Systems—A Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects,» ACM Transactions on Graphics 2:2 (April 1983), 92.

La modélisation des systèmes de particules est une première approche technique et conceptuelle de gestion et de suivi des données entre **deux couches de perception et d'informations** dans l'environnement virtuel :

- les informations concernant le comportement et les propriétés d'un agent isolé et la visualisation de son autonomie et de son individualité ;
- les données qui concernent le groupe d'individus et, par conséquent, de la forme « floue » manifestée par l'ensemble.

Dans le cas de la création d'un environnement naturel, les systèmes de particules avec des comportements physiques peuvent simuler une infinité de phénomènes irréguliers différents comme des précipitations météorologiques, des fluides, etc. Au-delà des simulations, les systèmes de particules peuvent être structurés et ordonnés pour constituer une solution efficace et relativement réaliste de **représentation d'une végétation**, si l'objectif du paysage n'est pas l'exactitude botanique mais l'**aspect naturel global (Deussen & Lintermann, 2005)**.



Fig. 12. *white.sand*.

Illustration n° 123. William Reeves, Experimentations avec les systèmes de particules pour créer de la végétation, Lucas Films



Fig. 7. Wall of fire about to engulf camera.

ACM Transactions on Graphics, Vol. 2, No. 2, April 1983

Illustration n° 124. William Reeves, «Wall of fire about to engulf camera», Lucas Films

« Ainsi, le mouvement caractéristique du domaine temporel de la particule est utilisé pour former une forme statique. Des couleurs vertes et vertes foncées sont attribuées aux particules qui sont ombrées sur la scène. Chaque particule devient une simple représentation d'une lame d'herbe et le système de particules dans son ensemble devient une grappe d'herbe. »

« Thus, the time-domain motion of the particle is used to make a static shape. Grasslike green and dark green colors are assigned to the particles which are shaded on the basis of the scene's light sources. Each particle becomes a simple representation of a blade of grass and the particle system as a whole becomes a clump of grass. » (Reeves, 1983)

William Reeves, «*Particle Systems—A Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects,*» ACM Transactions on Graphics 2:2 (April 1983), 92

L'objectif initial des expérimentations réalisées avec les systèmes de particules était de connaître les techniques de programmation suggérées et étudiées pour la gestion d'une **quantité d'informations dynamique et exigeante en termes de calcul de l'ordinateur**, puisque la perspective de ces travaux était la création et **l'interaction de graphiques en temps réel**. Le défi initial des algorithmes testés était la manipulation précise et optimale des données des particules, en dialogue avec la mémoire de l'ordinateur à travers des pointeurs. Une autre difficulté résidait dans l'utilisation de techniques spécifiques aux listes de données dynamiques (vecteurs) qui, dans le cas des systèmes de particules, répertorient des objets de durée d'existence limitée et relative.



Illustration n° 125. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Systèmes de particules avec forces, Systèmes de particules avec forces d'attraction et répulsion

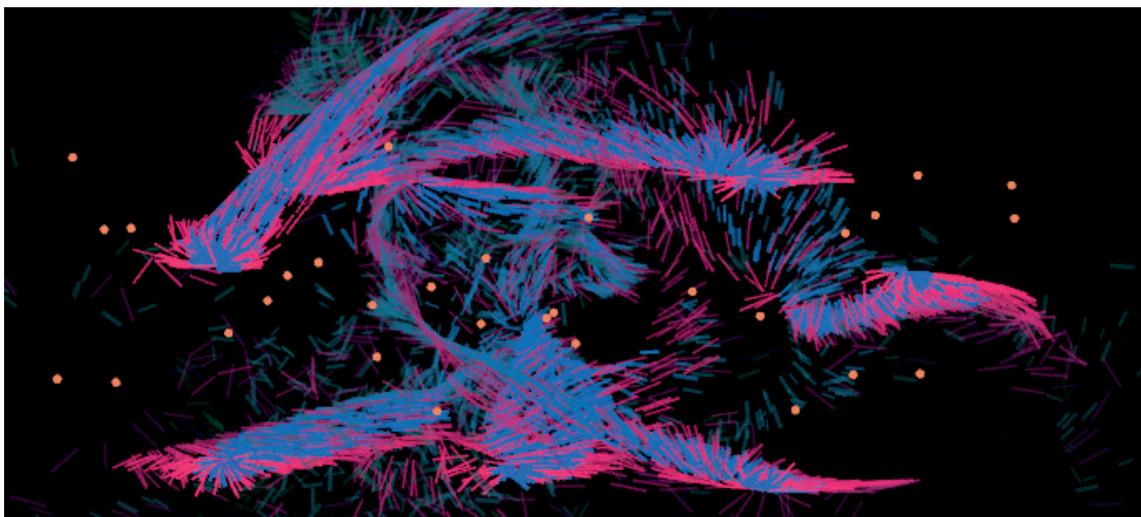


Illustration n° 126. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Systèmes de particules avec forces, Systèmes de particules avec forces d'attraction et répulsion

Bien que la création et la manipulation interactive et en temps réel des systèmes de particules ouvrent le champ de plusieurs possibilités artistiques, les visuels créés se ressemblent beaucoup : parvenir à créer une image totalement innovante sur le plan scientifique ou artistique nécessiterait une **puissance conceptuelle et technique considérable**. C'est pourquoi, malgré les défis techniques précités, la problématique qui ressort des expérimentations reste circonscrite à une problématique purement esthétique : **comment utiliser la puissance des systèmes de particules comme outil conceptuel et technique dans la création d'un paysage de façon originale et novatrice ?**

2.2 FORMES ET SYSTÈMES VERS LA COMPLEXITÉ

Les concepts développés ci-avant seront appliqués par la suite pour modéliser des **comportements autonomes d'agents virtuels** et pour explorer les possibilités esthétiques et animées de quelques **formes inspirées de la nature**. L'autonomie suppose l'utilisation d'algorithmes qui représentent des formes de « **volonté** » ou force de déplacement intrinsèque aux individus. Ces algorithmes construisent une **structure individuelle de réaction** à l'environnement qui provoque une action cinétique ou formelle. Les formes naturelles qui seront étudiées suivent le concept d'auto-génération par des instructions récursives (Fractales) et linguistiques (L-Systèmes). Les types d'interprétation scientifique et graphique de phénomènes naturels varient selon les niveaux de complexité (Galanter, 2008) mais comptent avec les notions de couches (ou échelles) potentiellement infinies de construction (cf. ill. 130).

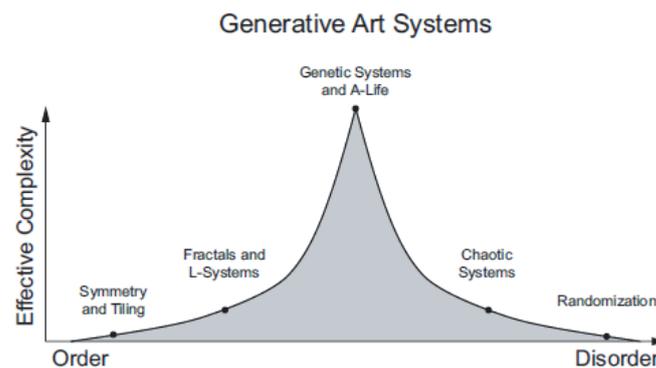


Fig. 15.2. Effective complexity used to organize various generative art systems

Illustration n° 127. Philip Galanter, «Generative Art Systems», dans «What is generative art ?»

Dans le cas des agents autonomes, les couches de construction partent de l'individu vers les comportements, interactions et motifs créés par un ou plusieurs ensembles. Chaque couche, avec ses caractéristiques, mène à la formation du phénomène de la complexité. Dans le cas des formes récursives, les couches d'informations sont relativement ordonnées et auto-similaires, ce qui réduit leur complexité effective (Galanter, 2003).

Encore que la complexité devienne importante au fur et à mesure de la recherche créative traitée ici. L'objectif initial de l'étude des systèmes de fractales, L-systèmes et agents autonomes, était de créer puis de tester des comportements et des formes reconnaissables comme **naturelles** ou identifiables comme **vivantes**. Les algorithmes qui ont inspiré cette partie des expérimentations sont des formules développées par des botaniques et des mathématiciens pour comprendre et reproduire la nature. La complexité est une étude à part qui examine et prend en compte ces méthodes de génération de formes et comportements.

2.2.1 AGENTS AUTONOMES

« A tous les niveaux de la nature, la récursivité et la multiplicité d'agents favorisent l'émergence et l'auto-organisation pour produire une forme de complexité presque inexplicable. »

« At all levels of nature, recursion and multiplicity of agents promote emergence and self-organisation to yield an almost unexplainable form of complexity. » (Flake, 2000)

Gary William Flake, The Computational Beauty of Nature

Un agent autonome est une unité qui interagit avec son environnement (qui consiste probablement en d'autres agents) mais **agit indépendamment** dans le sens où il **n'est pas guidé ou commandé par un leader**, où il ne doit suivre **aucune instruction globale**. Pourtant le comportement d'un ensemble d'agents autonomes paraît obéir à un ordre global du fait de la propriété de **l'auto-organisation**. Ce phénomène organisationnel émergent a été observé par plusieurs chercheurs s'intéressant à l'étude des systèmes (comme **Mitchel Resnick** (Resnick, 1997) et **Craig Reynolds** (Reynolds, 1987)) dont les motifs sont caractérisés par une alternance de phases ordonnées et désordonnées (Flake, 2000).

L'algorithme d'un agent autonome doit prendre en considération trois caractéristiques ou propriétés :

- i. Un agent autonome a une **capacité limitée de perception de l'environnement**. Il est fait appel à des techniques qui permettent à chaque objet de stocker des références et des informations sur d'autres objets, configurant ainsi un type de perception. Cette perception est néanmoins limitée, comme dans la réalité, pour permettre un comportement réaliste ;
- ii. Un agent autonome traite les informations de l'environnement et calcule une **action**, interprétée mathématiquement comme une **force** ;
- iii. Un agent autonome **n'a pas de leader** (Shiffman, 2012).

2.2.2 EXPÉRIMENTATIONS

- **Les comportements de pilotage et de direction ou *Steering behaviours***

Les *steering behaviours* ont été formalisés par **Craig Reynolds** en 1999 (Reynolds, 1999) dans une proposition de modélisation de comportement de navigation d'individus décrite par trois étapes : sélection d'une **action** (le but de l'agent), calcul du vecteur de la **force** motrice (*steering force*) et locomotion (type d'animation utilisée pendant le déplacement). La méthode

de calcul de déplacement de l'individu ou des groupes d'individus dépend du type d'action expressive souhaité. Dans toutes les actions possibles, le calcul de la force suit l'algorithme principal :

FORCE DE PILOTAGE ('steering force') = VITESSE SOUHAITÉE – VITESSE ACTUELLE

La variable entre les types de comportements sera le calcul de la direction de la force par rapport au calcul de la position de la cible poursuivie (la perception d'un *target*). Pour rendre le déplacement plus **réaliste et progressif**, il faut aussi limiter la vitesse souhaitée et la force d'impulsion vers le but à des valeurs plausibles, selon le type de trajet imaginé.

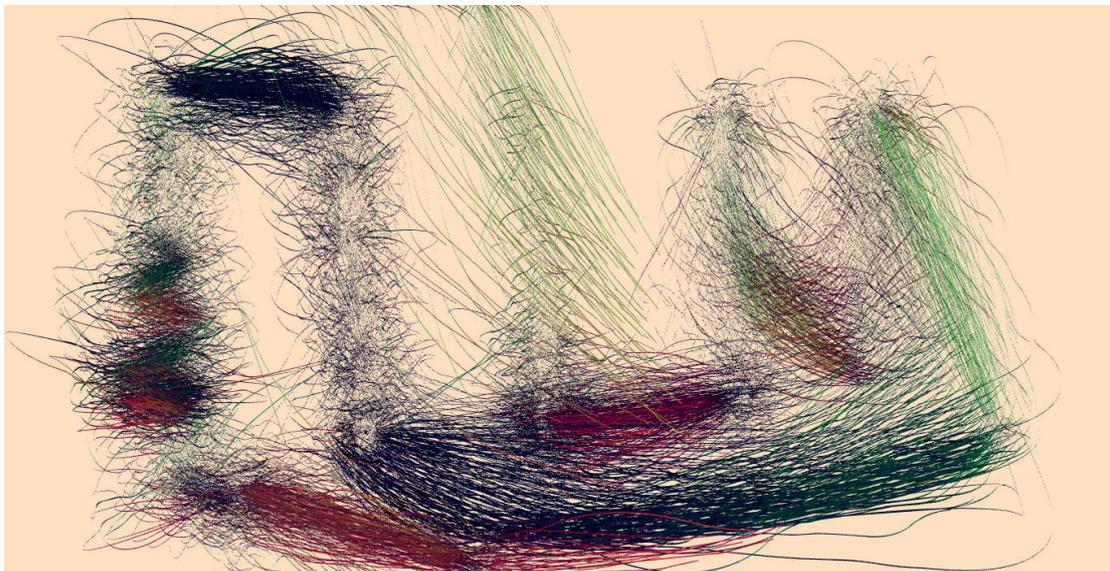


Illustration n° 130. Agents autonomes - Expérimentations - Les comportements de pilotage et de direction, Test : poursuivre et fuir

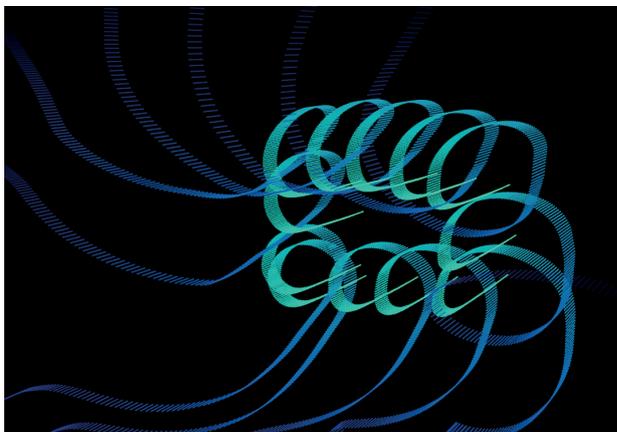


Illustration n° 128. Agents autonomes - Expérimentations - Les comportements de pilotage et de direction, Test : poursuivre et fuir

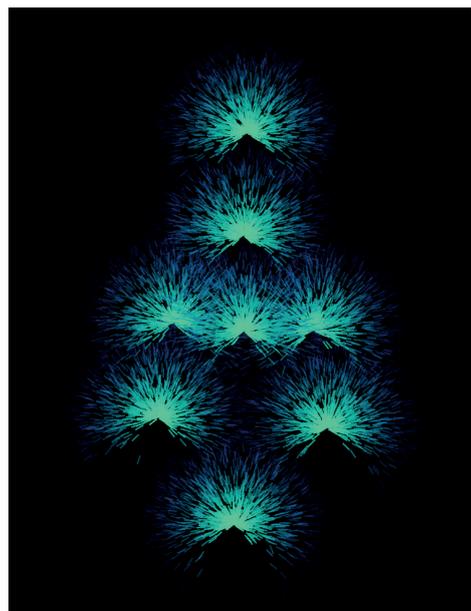


Illustration n° 129. Agents autonomes - Expérimentations - Les comportements de pilotage et de direction, Test : vaguer sur l'écran (angle contraint)

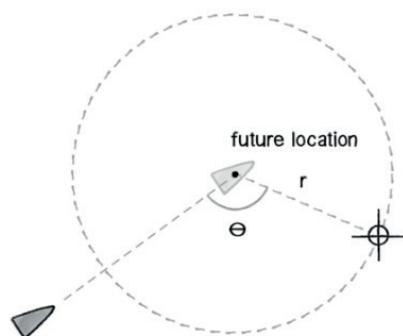


Illustration n° 131. Daniel Shiffman,
Calcul du target dans une circonférence,
«The Nature of Code»

Cette expérimentation consiste à calculer un but ou une direction de manière autonome et aléatoire avec un certain ordre à long terme, vu que la valeur calculée pour le dessin d'une image a une relation avec la prochaine valeur. Cette **relation** est créée à partir du **calcul d'une position dans une circonférence** (cf. ill. 134), en établissant un radius et une distance pour la circonférence et une limite de variation ou différence entre deux valeurs aléatoires adjacentes.



Illustration n° 132. Agents autonomes - Expérimentations - Les comportements de pilotage et de direction, Test : suivre un chemin

L'algorithme pour définir la trajectoire d'un agent suivant un chemin (une ligne ou un circuit de lignes) implique le calcul du but (*target*) comme en étant une position dans ce chemin et la comparaison avec une position prévue de l'agent. Si la position future est en dehors des limites du chemin (un radius d'épaisseur), on applique une force de pilotage vers le but dans la ligne. Si la position prévue est proche et dans les limites établies du chemin, l'agent poursuit sa trajectoire sans force de pilotage.

Pour comparer et qualifier la position future de l'agent « **P** », il faut trouver un point dans la même direction que sa vitesse actuelle et découvrir la distance entre ce point et la ligne. Pour cela on utilise le produit scalaire (*dot product*) pour trouver la projection d'un vecteur sur l'autre et trouver le point d'intersection entre la position prévue de l'agent et le chemin « **P** ». Avec cette distance, on calcule le but (juste un point « **T** » sur la ligne quelques pixels plus loin de « **P** ») et on **qualifie** la position future comme trop éloignée ou pas pour appliquer la force de pilotage.

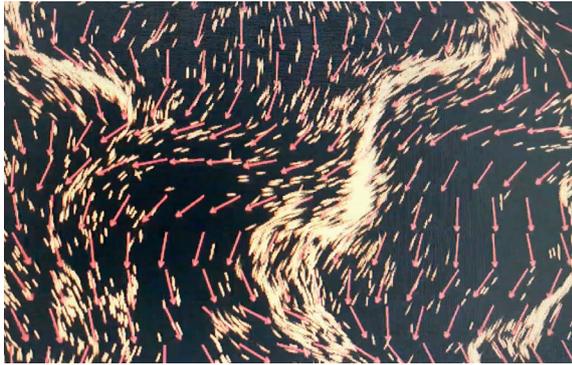


Illustration n° 133. Agents autonomes - Expérimentations - Les comportements de pilotage et de direction, Test : Flow Field



Illustration n° 134. Agents autonomes - Expérimentations - Les comportements de pilotage et de direction, Test : Flow Field

L'algorithme pour suivre un champs de force ou de courant consiste, d'abord, en la création d'un champs de vecteurs et ensuite en *mapping* ou **calcul d'équivalence entre la position d'un agent et la position correspondante dans ce champs de vecteurs**. Une fois le vecteur équivalent trouvé, l'agent prend comme but (*target*) la direction indiquée par lui. De cette manière, les agents suivent un mouvement selon un courant, un milieu dans lequel ils sont insérés comme des particules qui suivent le **flux d'une rivière ou du vent**.

- **La modélisation de la complexité**

Les expérimentations précédentes traitaient de modélisation de comportements individuels, sans prendre en compte les autres individus dans l'environnement virtuel. Le but est pourtant de construire un milieu (un **paysage** idéalement) où les agents dynamiques **échantent des informations, perçoivent** et prennent des **décisions** non seulement fondées sur leur environnement mais sur le comportement d'autres agents présents. Cette condition préfigure un système complexe qui se caractérise par trois principes (Shiffman, 2012) :

- i. unités simples avec des **relations à courte portée** (perception limitée de l'environnement) ;
- ii. unités simples qui **opèrent en parallèle** (les calculs des relations entre les individus sont tous réalisés avant chaque dessin d'une image sur l'écran) ;
- iii. le système comme un ensemble présente un **phénomène émergent** (motifs, intelligence, comportement complexe).

La modélisation de comportements trouvés dans la nature et identifiés comme étant des systèmes complexes constitue un défi technique et sensible lorsqu'il s'agit de reproduire cette complexité en informatique graphique. **Comment programmer un comportement qui représentera plus que la somme de ses instructions algorithmiques ?**

Voici trois autres aspects des systèmes complexes, pas toujours présents mais qui me paraissent intéressants à étudier dans l'optique de les implémenter dans une création d'un paysage virtuel :

i. La non-linéarité : aussi référencé comme « l'Effet Papillon » (voir annexe [12]), quand un système est sensible aux conditions initiales et qu'un changement minuscule dans les variables d'une simulation (ainsi que dans la réalité) peut changer complètement son résultat après un certain temps. Cet aspect est dit non-linéaire parce qu'il n'y a pas de lien direct entre le changement dans les conditions initiales et les conséquences qu'il provoque dans le système ;

ii. Compétition et coopération : ce sont des relations de tension d'un groupe d'agents. C'est une caractéristique typique de systèmes vivants, elle est absente dans un système non-vivant comme celui de la météorologie. Ces aspects contribuent à la construction de sens, des motifs et de l'identification empathique visuelle avec les entités dynamiques d'une image animée. Un système virtuel qui compte avec la coopération et la compétition se rapproche beaucoup de la dynamique des phénomènes vivants très courants dans les organismes vivants naturels ;

iii. Boucles de rétroaction (ou « *Feedback loops* ») (voir annexe [13]) : la rétroaction surgit quand le produit d'un système est utilisé comme donnée (« *input* ») de ce même système pour influencer son comportement de façon positive ou négative. C'est un concept important dans la création d'un écosystème pour établir une relation entre les agents et les ressources dans l'environnement ainsi que pour créer un réseau de causes et conséquences des actions des agents. Dans le cas d'un écosystème adaptatif et évolutif, les boucles de rétroaction rendent le contexte virtuel propice à l'émergence de solutions et phénomènes créatifs de la part de ses individus compte tenu de la réaction directe de son comportement face à certaines de ses actions ou à certaines ressources dans l'environnement, ce qui améliore l'adaptation (McCormack, 2007).

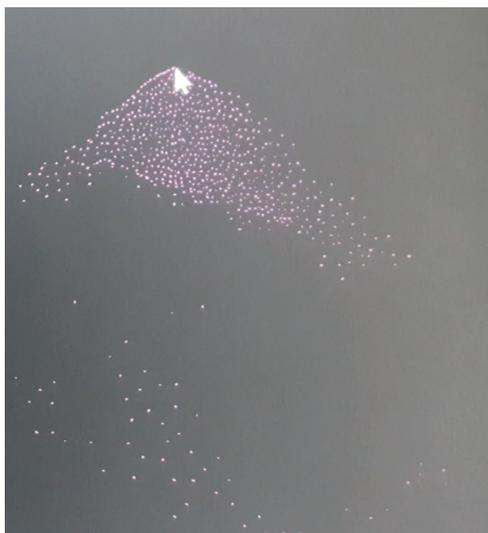


Illustration n° 135. Agents autonomes - Expérimentations - La modélisation de la complexité, Test de comportements de groupe: Separation + poursuivre la souris



Illustration n° 136. Agents autonomes - Expérimentations - La modélisation de la complexité, Test de comportements de groupe: Separation + poursuivre un chemin

Les premières expérimentations avec l'implémentation des comportements de groupe portaient sur la notion de séparation entre les agents. Dans ces tests, soumise à une **force de pilotage** (soit vers la souris soit pour suivre un chemin), la direction de la trajectoire des agents était également influencée par la **force** (ou le « **désir** ») de **séparation** d'autres agents.

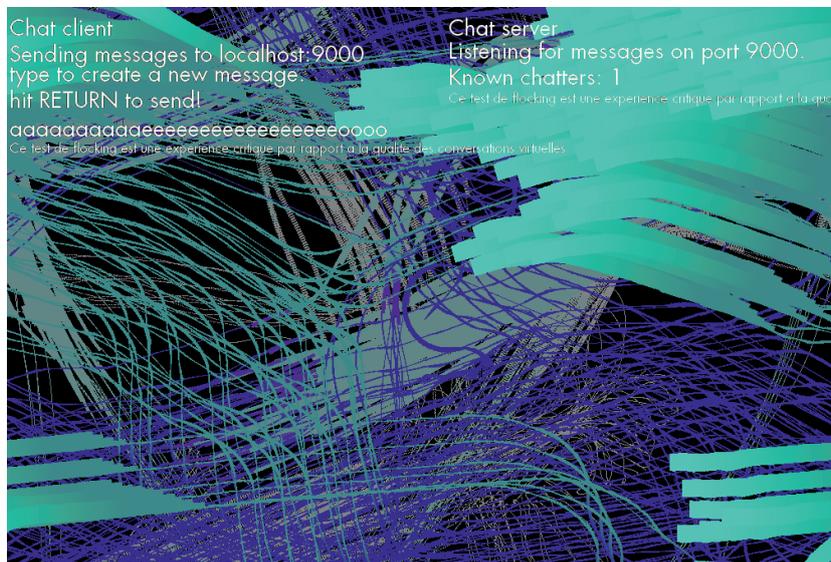


Illustration n° 137. Agents autonomes - Expérimentations - La modélisation de la complexité, Test de comportements de groupe: Flockage

Le contexte et le concept de la production de cette expérimentation interactive seront expliqués en détail dans le chapitre 3.2 (réalisation dans le cadre d'un cours). La technique consiste à utiliser l'**algorithme de flockage** pour observer ses possibilités de comportement sous diverses conditions.

Le **flocage** est un comportement de groupe (animal) observé chez plusieurs types de créatures vivantes comme les poissons, les insectes et les oiseaux. L'algorithme qui simule ce comportement a été décrit par **Craig Reynolds** en 1986 comme suivant trois règles (Reynolds, 1987) :

- i. **séparation**, pour éviter la collision avec les autres agents ;
- ii. **alignement** ou suivi de la moyenne de la direction des autres agents ;
- iii. **cohésion**, poursuivre une trajectoire vers le centre du groupe.

2.2.3 FRACTALES

Au delà de l'étude des **possibilités comportementales au sein d'un écosystème évolutif**, l'analyse de **formes** issues du domaine mathématique des fractales et de la botanique allait me permettre d'appréhender la variété et la richesse des formes trouvées dans la nature. Le terme *fractal* (fractale) a été inventé par **Benoît Mandelbrot** pour différencier les figures purement géométriques de ces figures qui défient une classification aussi simple car ne pouvant être décrites par des lignes et des courbes dans l'espace (formes euclidiennes idéalisées) (Flake, 2000).

Il est important de préciser ici que les concepts et les formules scientifiques de présences naturelles ne sont pas le seul moyen de modéliser un paysage, bien au contraire. Pour représenter un paysage, même un paysage virtuel programmé, il y a des manières plus instinctives et moins pragmatiques de procéder. Pourtant, l'objectif de cette recherche est de trouver un **dialogue spontanée** entre les **pulsions artistiques** de réalisation des visuels de paysage et des **notions scientifiques** de ce même procédé. Le but est de comprendre le **potentiel poétique des méthodes mathématiques** de création et d'évolution d'un type de composition à la fois expressif et descriptif (par des algorithmes).

2.2.4 EXPÉRIMENTATIONS

La récursion ou auto-similarité dans plusieurs échelles est une propriété des fractales. La génération des formes récursives peut être fondée sur des valeurs prédéterminées et liées entre elles par des fonctions ou fractions (technique **déterministe**) (cf. ill. 141, 142), mais elles peuvent aussi être construites à partir des valeurs aléatoires issues de probabilités (technique **stochastique**) (cf. ill. 143).

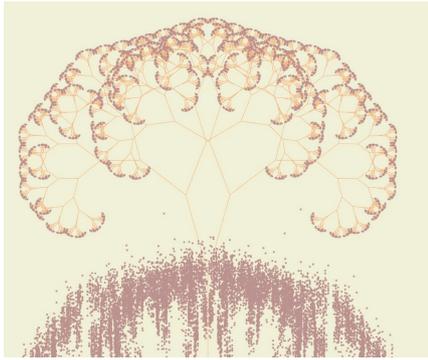


Illustration n° 138. Fractales - Experimentations, Arbre fractale déterministe

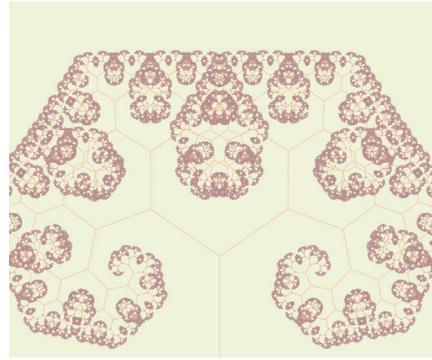


Illustration n° 139. Fractales - Experimentations, Arbre fractale déterministe



Illustration n° 140. Fractales - Experimentations, Arbres fractales stochastiques animés

Les dessins d'arbres peuvent être animés si les données des positions des points composant la forme sont stockées dans une liste (un vecteur en C++) et que ces valeurs sont modifiées selon un bruit ou une force environnementale.

Les techniques de programmation de formes suivant le concept des fractales n'ont pas été approfondies parce que plus les itérations devenaient intéressantes plus les calculs de formes s'alourdissaient. Je n'ai pas trouvé la manière **d'optimiser la technique** pour générer plusieurs figures fractales en temps réel tout en conservant suffisamment de performance informatique disponible pour manipuler ces formes destinées à interagir. Les possibilités artistiques des fractales sont pourtant largement exploitées pour la création d'images fixes pré-calculées et pour la création d'animations, générées pour ces dernières par des formules mathématiques très élaborées qui sont, pour l'instant, hors de ma portée. Pour pouvoir utiliser ces concepts dans un projet de paysage évolutif, il faudrait envisager la création de formes fractales plus simples, moins itérées ou calculées avec des techniques plus adaptées (comme la programmation de *shaders* citée ci-avant).

2.2.5 L-SYSTÈMES

Le **L-Système** est une structure de règles basées sur une grammaire créée par le botaniste hongrois **Aristid Lindenmayer** en 1968 pour modéliser les motifs de croissance des plantes (Prusinkiewicz & Molt, 1996). Cette technique n'est pas seulement efficace pour décrire la croissance de plantes mais également pour créer plusieurs formes mathématiques fractales, en étant une somme compacte d'instructions permettant de générer des formes infiniment détaillées. L'étude des **L-Systèmes** permet d'aller au-delà de la simple création de formes de végétation, elle permet d'appréhender la notion scientifique et philosophique **d'efficacité et de simplicité de la nature** quant aux ressources nécessaires pour la gestion de la vie, en minimisant les exigences matérielles et en maximisant les fonctionnalités. Un exemple en est la séquence de l'ADN (Flake, 2000).

Un L-Système possède trois composantes principales :

- i. un **alphabet** constitué d'une liste de caractères valides qui peuvent être inclus dans l'axiome et dans les règles, comme « A », « B » et « C ».
- ii. un **axiome**, comparable à une « graine » qui décrit l'état initial du système. Cette graine est composée d'une sentence comme « ABC » ;
- iii. des **règles** qui décrivent comment traduire ou construire des nouveaux types de cellules à partir de cellules anciennes, comme « A » → « AB » et « B » → « BC ».

1.1.1 EXPÉRIMENTATIONS

Les règles utilisées sont traduites par un objet appelé *Turtle* (en référence au programme graphique « *Turtle* » créé par **Seymour Papert**, un simple langage de programmation pour enfants permettant de dessiner des images numériques). Cet objet traduit en instructions graphiques les règles de translation, rotation, sauvegarde et récupération de positions de la matrice. De plus, les points et les lignes sont dessinés selon les instructions.

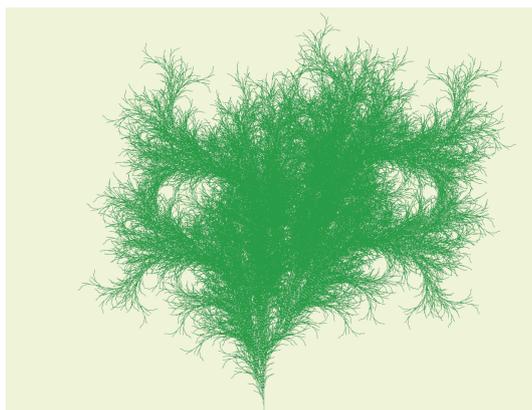


Illustration n° 141. L-Systèmes -
Expérimentations, Arbre en L-Sys-
tème animé

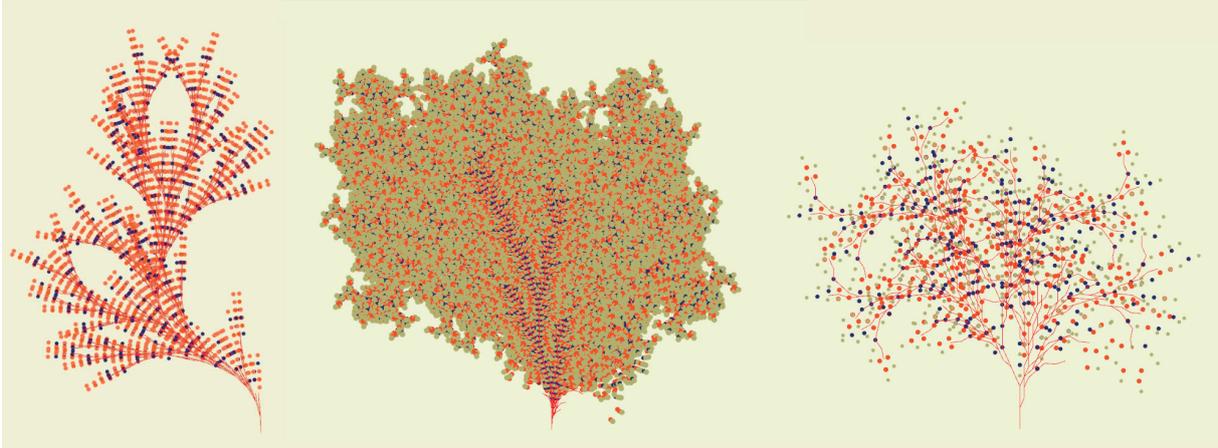


Illustration n° 142. L-Systemes - Expérimentations, Arbres avec des «fruits» en L-Système animé

Le défi de la génération de formes végétales avec l'utilisation de **L-systèmes** était semblable à celui rencontré lors des expérimentations avec les fractales : la modélisation, l'interaction et l'animation de formes détaillées en temps réel. Au lieu de calculer les points, les animer et dessiner les lignes qui les connectent à chaque itération de croissance, j'ai créé une liste de vecteurs de position avec les informations correspondantes de chaque point. Cette liste est créée une fois seulement, au début de l'itération. Une fois les points stockés en mémoire, il est possible de les animer sans consommer beaucoup de performances de la machine.

1.1.2 GÉOMÉTRIE FONDÉE SUR UN DESSIN

Il est encore possible de modéliser la végétation au moyen d'une technique fondée sur le dessin appelée **SBIM** pour *sketch-based interface and modeling*. Cette méthode suggère la création de géométries générées à partir d'une analyse de dessins de référence. Le modèle profiterait des indications structurales de différents types de dessin correspondant à des parties d'une plante et générerait une géométrie selon des caractéristiques formelles précisées par ces dessins, comme la posture de la plante ou l'arrangement de ses organes (feuilles, pétales, épines, etc) (Anastacio *et al.*, 2006) (cf. ill. 146).

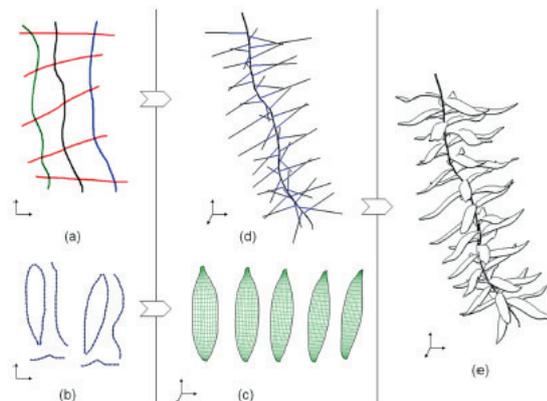


Illustration n° 143. Anastacio et al., schéma de fonctionnement du SBIM, image de l'article « Modeling Plant Structures Using Concept Sketches »

L'avantage de cette technique est qu'elle crée une végétation générée à partir du mélange entre les règles issues de la botanique (*phyllotaxis*, classification de l'organisation des organes des plantes) et le **geste** humain du dessinateur, potentiellement **spontané** et **imprécis**. Cela motive la réflexion sur la création interactive et en temps réel d'une végétation fondée sur des croquis. Cette possibilité représente une alternative intéressante à la création de formes entièrement automatisées et génératives à partir de règles.

2.2.6 EXPÉRIMENTATIONS

Dans les expérimentations inspirées de cette technique, des géométries ont été créées à partir du parcours de la souris sur l'écran. Des lignes perpendiculaires (équivalent au vecteur de la « normale » des *vertices* de la ligne) et tangentes à la courbe du trajet sont tracées pour simuler des tiges ou des feuilles simplifiées.



Illustration n° 144. Géométrie fondée sur un dessin - Expérimentations, Tiges formées par les vecteurs des «normales» des vertices

Illustration n° 145. Géométrie fondée sur un dessin - Expérimentations, Tiges formées par les vecteurs des tangentes des vertices



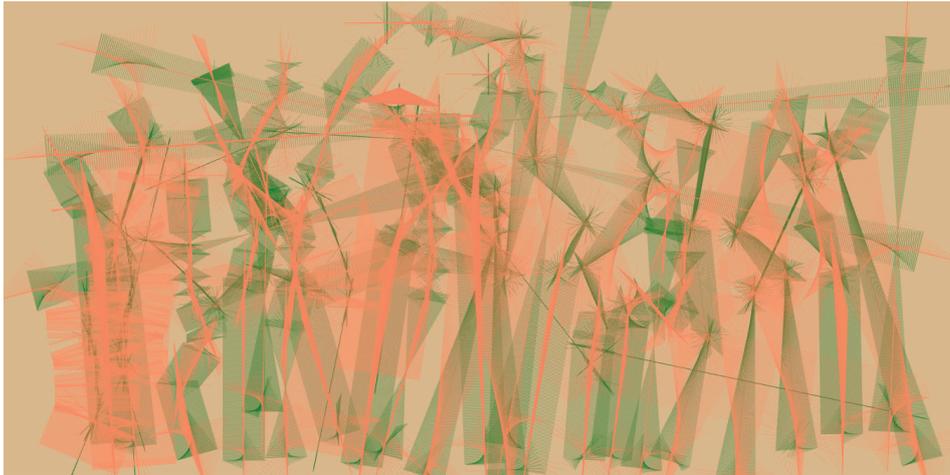


Illustration n° 146. Géométrie fondée sur un dessin - Expérimentations, Tiges formées par les vecteurs des «normales» et tangentes des vertices

Les expérimentations n'ont pas exploré complètement cette technique car, après la création de plusieurs géométries (dessinées répétitivement à chaque image, à la différence des images des tracés laissées par le déplacement des agents), le programme perdait en performance. Cette perte de performance m'a incitée à revenir à des expérimentations fondées sur le dessin de plantes à partir de traits laissés par le déplacement des agents autonomes. Pour respecter la proposition initiale de construction d'un paysage détaillé et évolutif en temps réel, il faudrait gérer une grande quantité de géométries, ce qui est irréalisable sauf à trouver une solution optimisée de cette modélisation interactive des plantes, dans le cadre de recherches à poursuivre en ce sens (Pirk *et al.*, 2016).

2.3 ORGANISATION DES GROUPES DANS UNE COMPOSITION DE PAYSAGE

Compétition pour l'espace

Dans la quête de solutions, techniques et inspirations pour la création d'un paysage évolutif en temps réel, survient un élément de réflexion important : l'organisation des éléments dans la composition. D'abord parce que le but de la présente recherche est de créer un **paysage identifiable par sa composition**, par l'étendue et la distribution des éléments et des formes, paysage donnant à voir un écosystème dense et vivant qui impose au spectateur un point de vue reculé. Ensuite, parce que **l'évolution du contexte et de l'image dépend de l'organisation des éléments dans l'espace** qui évolue selon leur comportement coopératif et compétitif pour les ressources disponibles. Le paysage serait, initialement, la visualisation de la distribution spatiale des éléments vivants dans une surface pour devenir, au fur et à mesure du développement de certaines dynamiques, la conséquence de la présence et des interactions entre les éléments de cet écosystème.

Une suggestion de *pipeline* (séquence d'étapes dans la production graphique informatique) complet de la création d'un paysage virtuel est très bien décrit dans le livre « *Digital Design of Nature* » et plus spécifiquement dans le chapitre 8 « *Modeling Vegetation. A Landscape Evolves* » (Deussen & Lintermann, 2005). La distribution et la compétition pour les ressources, comme la lumière, peuvent être traduites dans une abstraction en deux dimensions des populations d'éléments dans un plan. Cette abstraction peut être représentée par une image ou une texture qui contiendrait les informations nécessaires pour la génération des plantes qui seraient positionnées selon une analyse des données de couleur, par exemple. Cette possibilité et le *pipeline* suggéré seront développés au chapitre qui décrit le processus de mise en pratique des techniques acquises pour la création d'un paysage évolutif dans un projet artistique.

2.3.1 CELLULAR AUTOMATA

Le système de *Cellular Automaton* est un exemple de représentation informatique de dynamique qui symbolise des échanges et des relations entre des agents dans un espace spécifique en deux dimensions.

Le *Cellular Automata* (pluriel de *Cellular Automaton* ou CA) est un système dynamique **discret** (voir annexe [13]) dans l'espace et dans le temps dont le formalisme a été

inventé par **John Von Neumann** dans les années 40, avec des suggestions de **Stanislaw Ulam** (**Flake, 2000**). **Von Neumann** s'intéressait à l'essence du processus de reproduction des êtres vivants comme possible modèle mathématique qui permettrait à l'information de se reproduire.

En dépit de la limitation des relations entre les individus virtuels dans la quête de l'essence de la reproduction, les résultats de ses interactions restent extrêmement riches et source de comportements complexes, caractérisant un contexte favorable aux phénomènes émergents.

2.3.2 EXPÉRIMENTATIONS

La méthode utilisée pour la création d'un système de CA est un type personnalisé du modèle de « *Game of Life* » développé par **John Conway** dans les années 60 (Stanford University, s. d.). A l'origine, le programme consistait en une attribution aléatoire d'une valeur, 0 (représentant l'état mort) ou 1 (représentant l'état vivant), à une grille de cellules (ou pixels). Selon trois conditions préétablies, les cellules interagissaient avec leurs voisines pour définir leur prochain état. Les règles sont :

- i. **Mort** par solitude (quand il y a moins de deux voisines vivantes) et par surpopulation (quand il y a plus de quatre voisines vivantes) ;
- ii. **Naissance** (quand l'état de la cellule est à 0 en présence de trois voisines vivantes) ;
- iii. **Stase** ou permanence de son état actuel (si aucune des conditions précédentes ne s'appliquent).

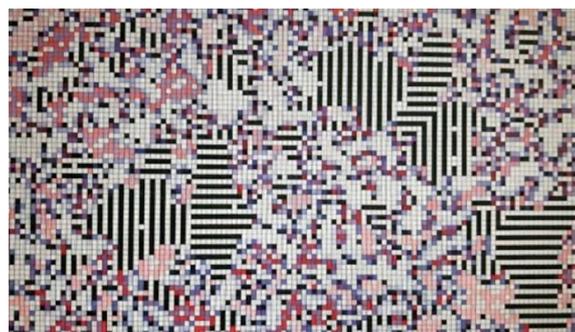


Illustration n° 147. Cellular Automata - Expérimentations, Test de Game of Life avec suivi des états passés

Deux adaptations ont été réalisées : la première, inspirée de l'exemple suggéré par **Daniel Shiffman** dans le livre « *The Nature of Code* » (Shiffman, 2012), applique un système de programmation orientée objet où chaque cellule possède un registre de son état actuel et de l'état précédent. De cette manière, par l'utilisation de couleurs différentes pour caractériser le changement d'état, le système exprime plus d'informations et peut être lié aux phases visuelles distinctes de la vie d'un élément. Cette approche sera utile pour la modélisation de la distribution d'une végétation dans un espace.

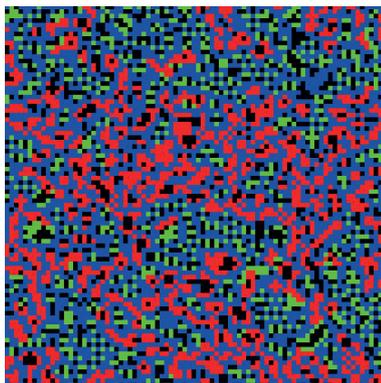


Illustration n° 148. Cellular Automata - Expérimentations, Test de Game of Life avec trois espèces (règle 01)

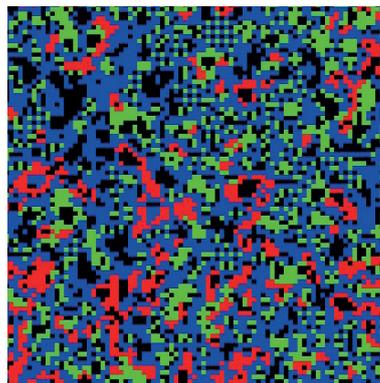


Illustration n° 149. Cellular Automata - Expérimentations, Test de Game of Life avec trois espèces (règle 02)

La deuxième adaptation du modèle de **Conway** consiste en l'utilisation de trois types de cellules différentes (1, 2 et 3) pour simuler trois espèces différentes propagées dans le plan. Chaque type de cellule est initialisé avec un état, vivant ou mort. Les conditions qui contrôlent l'état des cellules sont les mêmes que celles proposées par **Conway** complétées par d'autres règles expérimentales qui établissent différentes interactions entre les espèces, comme la mort d'une cellule entourée par plus de trois éléments d'une autre espèce.

Plusieurs règles d'interaction ont été testées sans succès et deux tendances ont été observées :

- i. Le système rentrait souvent dans un **état oscillatoire** de domination d'une des espèces favorisées par les règles ;
- ii. Si les règles étaient les mêmes pour toutes les espèces, le système oscillerait sans beaucoup de changement à partir de son état aléatoire initial.

Une version améliorée de cette dernière option a été utilisée dans le projet final comme plan de positionnement de la végétation et sera exposé dans le prochain chapitre.

Les systèmes de CA possèdent d'autres variations conceptuelles et visuelles, comme la classification de **Wolfram**. Il est également possible d'utiliser ce même principe pour créer des **relations entre des systèmes d'agents autonomes** (pour l'adaptation de comportements individuels selon le suivi des états de ses voisins) et comme référence de **ressources dynamiques** dans un environnement. Ce sont des expérimentations envisageables pour la poursuite et la complexification de cette recherche, vers l'étude et la modélisation de dynamiques de compétition et de coopération plus avancées.

2.4 DIMENSION TEMPORELLE DU PAYSAGE : INTERACTION, ADAPTATION ET ÉVOLUTION

La dimension temporelle de l'image est importante dans cette recherche en ce qu'elle ouvre des possibilités de découvrir et de modifier de nouvelles formes et de nouveaux comportements autonomes générés par des facteurs imprévisibles, dans une sorte de manifestation de créativité conjointe entre le programme graphique, l'artiste et potentiellement des participants de l'installation (en intégrant des données issues de l'interaction dans le développement de l'image). L'idée de création d'un paysage artistique évolutif en temps réel prend sa source dans l'envie de créer **quelque chose qui ressemblerait à un paysage naturel mais qui serait modifié et atteint par divers changements environnementaux**. Comme si une instance vivante ou un esprit habitait une image dont l'expression prendrait la forme de ce **paysage qui se communique et qui s'adapte**.

Au sens général du terme, l'adaptation est un processus rétroactif dans lequel les changements externes dans un environnement provoquent des changements compensatoires internes dans un système adaptatif. Les systèmes complexes sont un exemple de milieu adaptatif par la possibilité qu'ils présentent de changement d'interactions entre ses unités composantes (Flake, 2000). Quand cette **adaptation des interactions** permet aussi le **changement des données** ou variables qui constituent les individus d'un système pour permettre la découverte de nouvelles solutions de survie dans un environnement dynamique, **l'évolution apparaît**.

Les concepts de la théorie évolutionnaire de la vie sur Terre, découverts par **Charles Darwin** et développés depuis, ont inspiré plusieurs branches de la science. L'informatique, en particulier, a repris quelques-uns de ces concepts pour les transformer en modèles de résolution autonome de problèmes et d'amélioration de capacités face un changement contextuel. L'inspiration et l'application en informatique des stratégies suggérées par les idées évolutionnaires biologiques s'expriment en forme d'algorithmes génétiques et participent du domaine de recherche de l'*Evolutionary Computation* (calcul informatique évolutionnaire) (Reynolds, s. d.).

2.4.1 ALGORITHMES GÉNÉTIQUES

L'étude de l'évolution comme stratégie naturelle (trouvée dans la nature) et l'application des concepts pour résoudre des problèmes requiert trois éléments :

i. Hérité : si les individus vivent assez pour se reproduire, il faut un moyen de transmettre les informations à leurs enfants pour qu'une prochaine génération de créatures puisse être

testée ;

ii. Variation : pour que l'évolution puisse se manifester, il faut qu'une population d'éléments soit variée. Si les traits et caractéristiques des individus se répètent, la possibilité de choix d'une meilleure solution pour résoudre un problème se réduit ;

iii. Sélection : dans un contexte évolutif, quelques individus sont aptes à se reproduire et à transmettre des informations à leurs enfants, d'autres sont inaptes à le faire. La sélection des individus les plus aptes à se reproduire ou des individus les plus à même de réaliser une tâche spécifique est un mécanisme important dans un milieu propice à l'évolution.

La **variation** est implémentée par la création d'une population d'éléments générés initialement de manière aléatoire. Les éléments doivent avoir une collection de propriétés qui décrivent comment ils se comportent ou s'apparentent. Cette collection est aussi appelée **ADN**, **gènes** ou **génotype**, car d'elle sortira l'information qui sera transmise à la prochaine génération d'éléments dans le cas de qualification de reproduction. Le **phénotype** dans le cas d'une simulation évolutive serait la façon dont le génotype est exprimé visuellement (problématique dans la discussion au tour de l'art évolutionnaire (Galanter, 2010)).

La **sélection** sera une méthode créée pour évaluer les individus et choisir les meilleures solutions ou du moins celles qui s'approchent le plus d'un but spécifique. La forme d'évaluation et de choix varie selon le problème imposé et les objectifs du système. Dans le cas du domaine de la recherche sur l'art évolutionnaire, par exemple, le critère de sélection est souvent lié à la qualité esthétique des individus dans une population, ce qui provoque des questionnements et des discussions philosophiques et qui est sujet à polémique (Galanter, 2010).

L'**hérédité** ou la **reproduction** des individus sont réalisés à partir du croisement des informations du génotype des individus sélectionnés. Dans ce processus, il est possible d'ajouter de la mutation (altération aléatoire des données) pour augmenter la variété de la population de la prochaine génération.

2.4.2 EXPÉRIMENTATIONS

```

Best so far: {B, O, N, N, F, S, , F, E, K, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.866667
Best so far: {B, O, N, N, E, t, , F, E, T, E, S, ^, !, !} Highest match score: 0.866667
Best so far: {B, O, N, N, E, t, , F, E, T, E, S, ^, !, !} Highest match score: 0.866667
Best so far: {B, O, N, N, E, S, 4, F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.933333
Best so far: {B, O, N, N, E, S, , F, E, T, *, S, !, !, !} Highest match score: 0.866667
Best so far: {B, O, N, N, X, S, , F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.866667
Best so far: {B, O, N, N, }, S, , F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.8
Best so far: {B, O, N, N, X, S, , F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.866667
Best so far: {B, O, N, N, E, S, 3, F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.933333
Best so far: {B, O, N, N, E, S, g, F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.933333
Best so far: {B, O, N, N, E, S, , F, -, V, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.866667
Best so far: {B, O, N, N, E, S, g, F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.866667
Best so far: {B, O, N, N, M, S, , F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.933333
Best so far: {B, O, N, N, E, S, Z, F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.933333
Best so far: {B, O, N, }, E, S, z, F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.866667
Best so far: {B, O, N, N, E, S, , F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.933333
Best so far: {B, O, X, N, E, S, , F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.933333
Best so far: {B, O, X, N, E, S, , F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.933333
Best so far: {B, O, X, N, E, S, , F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.933333
Best so far: {B, O, X, N, E, S, , F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.933333
Best so far: {B, O, X, N, E, S, , F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.866667
Best so far: {B, O, N, N, E, S, K, F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.933333
Best so far: {7, O, N, N, E, S, , F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.933333
Best so far: {B, O, N, N, E, S, , F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 1
Best so far: {B, O, N, N, E, S, ], F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.933333
Best so far: {B, O, N, N, E, S, |, F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.933333
Best so far: {B, I, N, N, E, S, , F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.933333
Best so far: {B, O, N, N, E, S, , , E, h, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.866667
Best so far: {7, O, N, N, E, S, |, F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.866667
Best so far: {B, O, N, N, E, S, 6, F, E, T, E, S, B, !, !} Highest match score: 0.866667
Best so far: {B, O, X, N, E, S, , F, E, T, E, S, !, !, !} Highest match score: 0.933333

```

Illustration n° 150. Algorithmes Génétiques - Expérimentations, Evolution d'une population de phrases vers une phrase spécifique

Cette expérimentation utilise une **population** de caractères comme génotype et aussi comme phénotype avec le but de former une phrase prédéfinie. Le processus de sélection qualifie la population selon son approximation avec la phrase « Bonnes fêtes !!! » à travers le calcul de la quantité de caractères correcte par rapport à la phrase.

Cette expérimentation utilise une **population** de phrases générées aléatoirement et dont les caractères sont issus de son génotype et de son phénotype. Le processus de sélection qualifie la population selon son approximation avec la phrase « *Bonnes Fetes !!!* » à travers le calcul de la quantité de caractères correctes par rapport à la phrase.

La **reproduction** est réalisée avec le choix des deux phrases tirées au sort d'un assortiment probabiliste calculé selon le score d'aptitude des phrases (la quantité de la répétition d'une phrase sera égal au pourcentage de son score dans une population de 100 individus). Le passage des informations génotypiques (la moitié de ses caractères) à la prochaine génération est alors réalisé avec la récupération de la moitié d'informations du ADN de chaque parent et la formation d'une nouvelle phrase enfant et par conséquence, une nouvelle population de phrases.

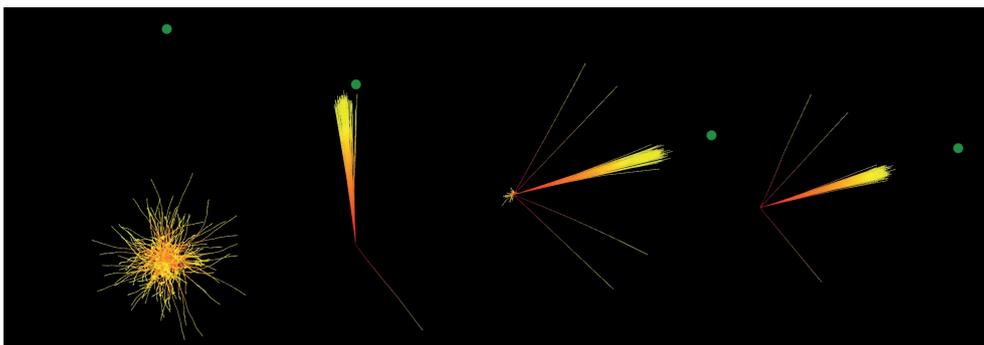


Illustration n° 151. Algorithmes Génétiques - Expérimentations, Evolution d'agents autonomes vers un trajet optimisée vers un point cible

Cette expérimentation a été inspirée de l'algorithme génétique développé par **Jer Thorp** en 2009 et publiée sur son site sous le nom de *Smart Rockets* (Thorp, s. d.). Le sujet est de faire atteindre un point sur l'écran à une population d'individus qui se déplacent selon un l'impulsion de forces (vecteurs avec magnitude et direction) de valeurs aléatoires. L'information génétique (**génotype**) de chaque individu est exprimée (**phénotype**) par une liste de forces à appliquer lors de leur déplacement. La **sélection** de la population d'agents pour la création d'une prochaine génération est réalisée selon la qualification de ceux qui se sont le plus rapprochés du point ciblé. La liste de forces appliquées, soit le code génétique de chaque agent, est donc transmise par héritage aux nouveaux individus.

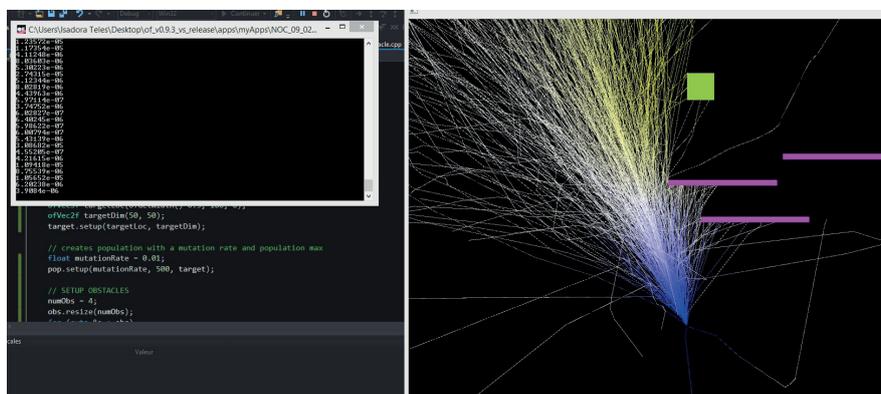


Illustration n° 152. Algorithmes Génétiques - Expérimentations, Evolution d'agents autonomes vers un trajet optimisé vers un point cible avec obstacles

Cette expérimentation reprend la même dynamique que la précédente, avec l'ajout d'obstacles interactifs (qui peuvent changer de position avec la manipulation de la souris). Si les individus de la population rencontrent un obstacle, ils s'arrêtent et leur niveau d'aptitude à se reproduire pour former une génération suivant diminue proportionnellement.

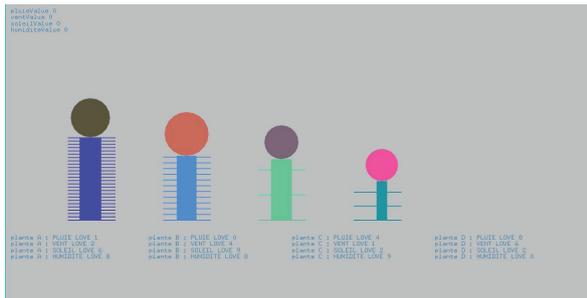


Illustration n° 153. Algorithmes Génétiques - Expérimentations, Evolution de personnages avec sélection interactive (generation 01)

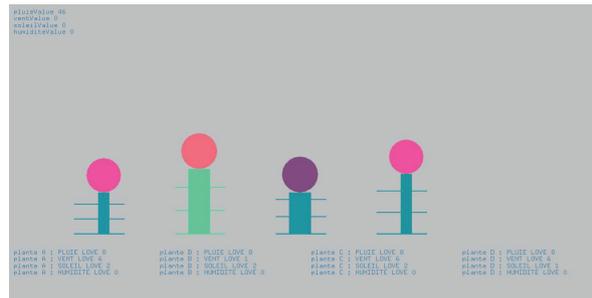


Illustration n° 154. Algorithmes Génétiques - Expérimentations, Evolution de personnages avec sélection interactive (generation 02)

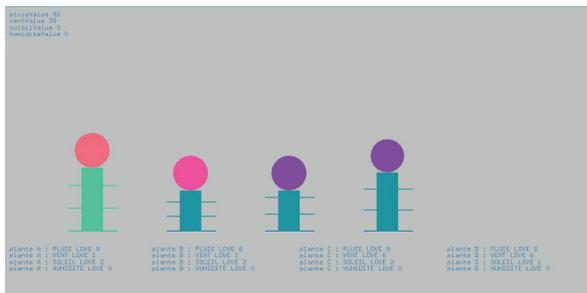


Illustration n° 155. Algorithmes Génétiques - Expérimentations, Evolution de personnages avec sélection interactive (generation 03)

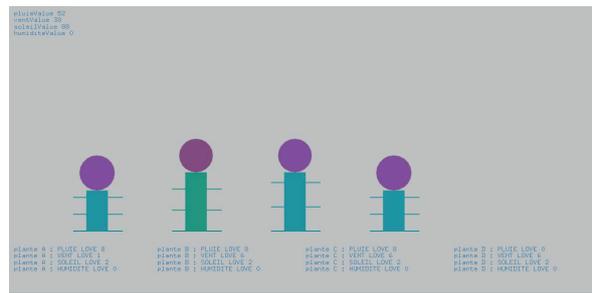


Illustration n° 156. Algorithmes Génétiques - Expérimentations, Evolution de personnages avec sélection interactive (generation 04)

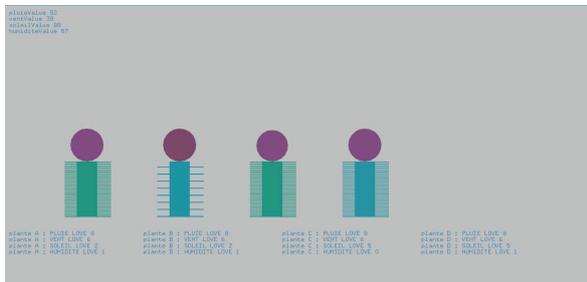


Illustration n° 157. Algorithmes Génétiques - Expérimentations, Evolution de personnages avec sélection interactive (generation 05)

Inspiré par les travaux de **Karl Sims** (Sims, 1994), et plus précisément par l'installation « *Genetic Images* » (Sims, s. d.), **Daniel Shiffman** propose dans le livre « *The Nature of Code* » une expérimentation où la **qualification** des éléments d'une population est faite de manière interactive. L'interlocuteur de l'image évalue les individus qui seront **sélectionnés** de la même manière que les autres expérimentations, avec un choix probabiliste dans une collection d'éléments répétés selon leur ponctuation (niveau d'aptitude). Le **génotype** cette fois est composé de valeurs qui s'expriment par des formes géométriques variées (**phénotype**), dans l'idée de dessiner des plantes géométriques.

2.4.3 CONCLUSION VERS UNE PROPOSITION DE MISE EN ŒUVRE

Le but de l'étude sur les concepts et techniques de simulation des indices de vie artificielle virtuelle était de pouvoir les utiliser comme inspiration conceptuelle et technique dans la création d'un paysage qui se modifie et s'adapte.

Conceptuellement, la **compréhension et l'étude du domaine de la vie artificielle**, sous un point de vue artistique, a motivé ma volonté de chercher des phénomènes émergents produits par les interactions entre les éléments de l'image. Donc, ce qui était, au départ, une recherche sur la modélisation objective d'un paysage génératif, autonome et adaptatif, s'est transformé en **une quête des modalités de création d'un contexte virtuel permettant l'émergence d'un paysage**, construit par ses dynamiques intrinsèques, ses éléments et leurs interactions adaptatives.

Techniquement, le domaine de la vie artificielle m'a donné quelques pistes sur la façon de **programmer des comportements et des formes qui promeuvent des phénomènes et motifs complexes et imprévisibles**, ceux-ci composant (à la place du software) voire construisant (à la place de l'artiste) un paysage virtuel. La considération de ces concepts et l'utilisation de ces techniques auxquelles s'ajoute la composition permettant de suggérer un paysage, pouvaient engendrer un processus esthétique intéressant comme **proposition ou début de réponse à la problématique initiale : pourquoi et comment créer un paysage évolutif ?**

3. DESSINATEURS DE PAYSAGE

Les expérimentations exposées dans ce chapitre ont permis de traduire concrètement quelques idées dégagées au cours de la phase de recherche sur le sens et les techniques envisageables pour atteindre l'objectif visé.

Quelques-uns des buts visuels et conceptuels ont été atteints, pendant que d'autres mériteraient de faire l'objet d'une poursuite d'expérimentation artistique autour des paysages construits au moyen d'algorithmes de vie artificielle.

Le projet « *Aliaj Angelus* » qui a inspiré l'idée de la recherche sur le sujet de la vie artificielle en liaison avec la représentation du paysage est le premier à être traité. Seront ensuite présentées quelques variations et extensions d'une technique développée pour ce premier projet.



Illustration n° 158. Jean-François Millet, «L'Angelus», (1859), Musée d'Orsay, Paris

3.1 « ALIAJ ANGELUS » : PAYSAGE MODIFIÉ PAR LA MÉTÉOROLOGIE

3.1.1 OBJECTIF ET CONCEPT

L'installation « *Aliaj Angelus* » est un projet réalisé en binôme avec **Alexandre Gomez** et a été pensée comme une façon d'expérimenter quelques techniques acquises au long de notre recherche de master pour offrir une proposition d'utilisation poétique de ces techniques. Le projet vise à créer un dialogue sensible par rapport à notre discours de recherche et donner ainsi une continuité et une place artistique à notre travail de création.

Il s'agit d'une **interprétation virtuelle et évolutive** de la peinture « L'Angélus », de **Jean-François Millet** (cf. ill. 161), avec l'idée d'insérer une représentation graphique d'une végétation qui répond visuellement à des stimuli de données météorologiques. Le but était d'avoir une image de paysage autonome, à la fois maîtrisée et imprévisible et en modification constante grâce au contact indirect avec l'environnement réel. Chargée de la génération de la végétation, je me suis imposée comme contraintes de ne pas me contenter d'images abstraites génératives pour, au contraire, donner mon interprétation personnelle de ce qu'est le dessin de l'herbe, des plantes et des arbres et, surtout, pour dégager un compromis de cohérence expressive entre les données météorologiques (« *input* ») et l'apparence des plantes (phénotype/ « *output* »).

La peinture de **Millet** a été une source d'inspiration en particulier grâce à la représentation réaliste du rythme immuable des paysans (« Musée d'Orsay: Jean-François Millet L'Angélus », s. d.) et de leur relation quotidienne et interdépendante avec le paysage. Il y avait là deux aspects intéressants à explorer : d'abord l'idée du **rythme vivace**, de rituel et de temporalité religieuse proposée dans la peinture, qui nous laisse l'impression que l'action des paysans sera toujours la même quels que soient le contexte et l'environnement. En parallèle, on sait que le quotidien des paysans se construit en **relation avec le paysage des plantations**, de la ferme et de la ville lointaine montrées dans l'image, en mode d'échange de ressources. Il y a alors deux rythmes en dialogue proposés dans l'image, celui des paysans et celui de la nature qui les entoure.

Sous la forme de proposition artistique de création d'un paysage évolutif, le positionnement artistique assumé face à ces deux rythmes est de rendre possible l'évolution, l'adaptation, de créer un contexte de potentiel de changement dans le plan de la nature et de maintenir la notion de répétition des actions des paysans. Cela suggère une **inversion des rôles d'intelligence et d'attente dramatique**. Dans l'installation « *Aliaj Angelus* », la possibilité de

narration, de surprise, de poétique réside dans **l'histoire du paysage** et non pas dans l'histoire des paysans.

L'idée initiale de réinterprétation et de transformation du sens de la peinture de **Millet** comportait plus de charge symbolique, plus de ressources, de manipulation et d'équipement technique que ce qui a été produit au moment de la présentation de l'installation. L'idée, au départ, était de reprendre le paysage dans un contexte de réalité virtuelle immersive où le spectateur se retrouvait dans la peinture (par le biais d'un casque de VR), en faisait partie et interagissait avec l'environnement en évolution avec, en plus, la possibilité de découvrir d'autres aspects et composants de l'image localisés dans un possible hors-champs du cadrage principal. Les idées arrivaient facilement et étaient très motivantes, puissantes conceptuellement, mais tout n'était pas réalisable dans le temps disponible et tout ne contribuait pas à la construction de sens d'une seule proposition d'installation.

La scène générative en temps réel avec le but de présentation de l'image animée projetée et extensible avec un système de *head-tracking* a été réalisée avec deux logiciels (**Unity** et **Touchdesigner**) et un système de bibliothèques ou *framework* de programmation en C++ (*Openframeworks*). La construction de l'installation ainsi que les défis de mise en place, les problématiques rencontrées et les possibilités découvertes au long de sa création sont décrits ci-après.

3.1.2 ÉTAPES ET PROBLÉMATIQUES DE RÉALISATION

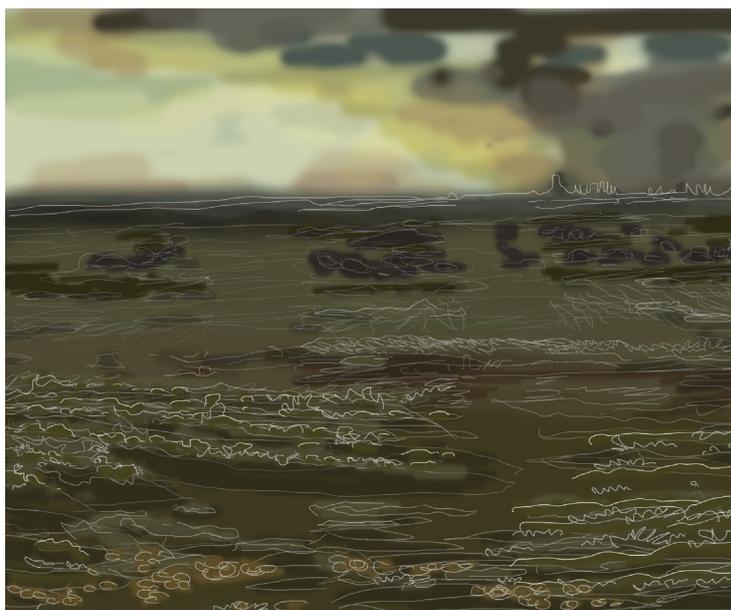


Illustration n° 159. Croquis d'analyse de la composition du paysage de la peinture «L'Angelus» de Jean-François Millet

Le *pipeline* de construction d'un paysage virtuel a été inspiré par celui proposé dans le livre « *Digital Design of Nature* » (Deussen & Lintermann, 2005) . Le processus suggéré consiste en :

- i. La modélisation d'un terrain ;
- ii. La modélisation des plantes individuellement ;
- iii. La spécification de la distribution des plantes et de la génération de l'image ;
- iv. La génération de l'image.

- **Modélisation du terrain**

Le terrain a servi comme base pour instancier la végétation et pour aider à reconstruire le relief de la peinture. La géométrie a été réalisée avec l'outil de sculpture dans **Blender**, elle est fondée sur ma perception personnelle du relief apparent de la peinture.

- **Placement par *Height Map***

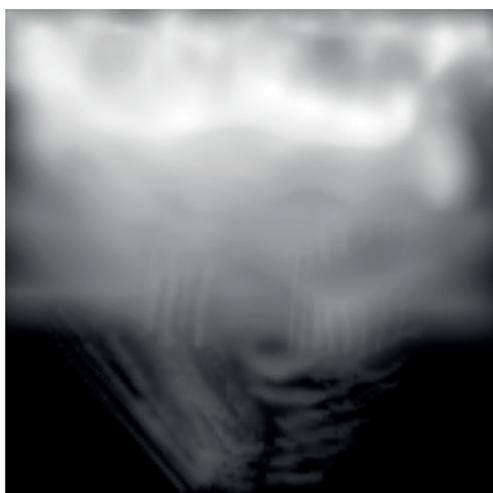


Illustration n° 160. Height Map d'après le modèle 3D du terrain

La première technique utilisée pour placer la végétation a été l'extraction des données de profondeur ou *z-depth* de la vue du dessus du terrain. Pourtant, les données étaient incompatibles. Les informations n'étaient pas fidèles à la géométrie ou '*mesh*' du terrain sur *Openframeworks*. Il est possible que cela provienne du format de lecture disponible de l'image sur le programme, qui n'atteint peut être pas les 16 bits par couche du PNG sortie de **Blender**.

- **Placement par vertex**



Illustration n° 161. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Image de test de placement de géométrie pour simuler une composition de paysage (méthode CPU)

Finalement, la solution était d'utiliser les *vertices* de la géométrie importés comme information de position pour la végétation. On avait un terrain de 128x128 *vertices* mais, suite à des expérimentations, on pouvait avoir le double de *vertices* sans perdre en performance. A la fin nous avons 256x256 points d'origine de placement pour la végétation. Pour ne pas avoir une grille d'images, un bruit ou *noise* a été ajouté à la position de chaque point de repère.

- **Observations et problématiques**

Le terrain en forme de géométrie importé s'est montré utile pour avoir le **contrôle du relief** du paysage et pour sa **relation avec la lumière**. Pourtant, comme les plantes n'avaient pas cette relation avec la lumière (par manque de temps), son utilité n'était pas optimale dans le cadre du projet. Pour l'organisation et le placement de la végétation dans le cas d'expérimentations futures, avec la **végétation qui réagit à la lumière**, les possibilités artistiques d'un terrain sculpté mériteraient d'être plus exploitées.

Dans le *pipeline* proposé par le livre « *Digital Design of Nature* », la modélisation du terrain inclut la spécification des **facteurs du sol**, ce qui implique la création d'une structure de **base de données** de ressources du sol qui serviront dans la génération et la croissance des plantes et dans leurs échanges en tant que fournisseurs et consommateurs de ressources naturelles. Cette fonctionnalité du terrain fait partie de la boucle de rétroaction présente dans la modélisation d'un écosystème virtuel mais n'a pas été mise en place dans le projet actuel. A la place d'une base de données de ressources naturelles, une simulation d'un système de *Cellular Automata* a servi comme dynamique d'échange et d'interaction entre les plantes, sans rapport direct avec les ressources du terrain. Cette manipulation sera expliquée plus loin.

- Distribution des plantes dans le terrain : création d'un champs de force

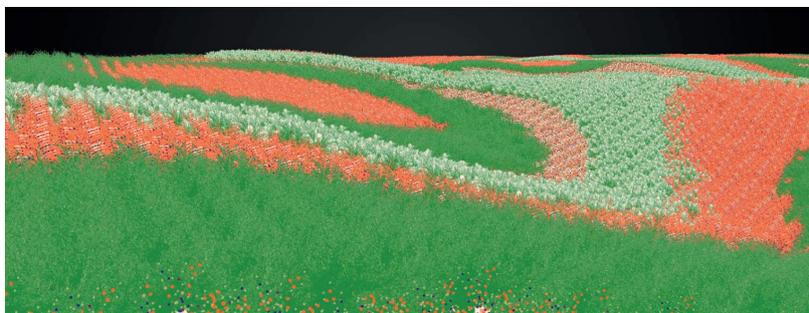


Illustration n° 162. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Image de test de placement de géométrie pour simuler une composition de paysage (méthode GPU)



Illustration n° 163. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Image de test de placement de géométrie pour simuler une composition de paysage (méthode GPU)

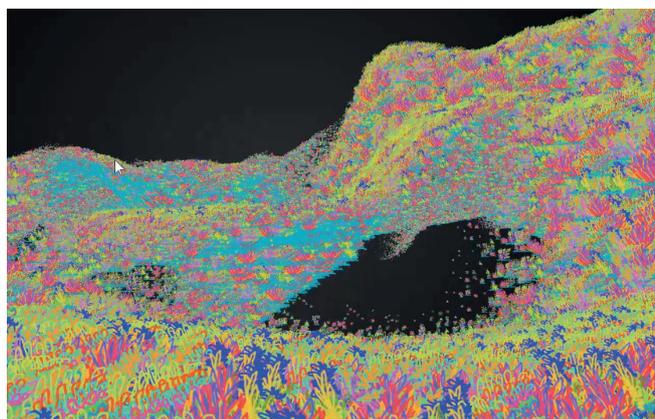


Illustration n° 164. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Image de test de placement de géométrie pour simuler une composition de paysage (méthode GPU)

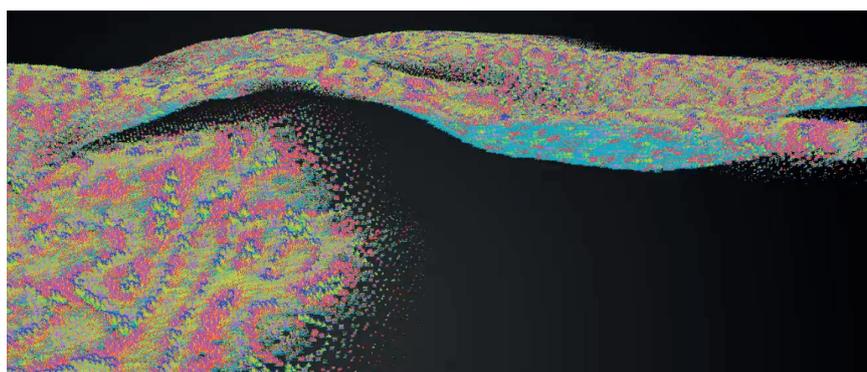


Illustration n° 165. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Image de test de placement de géométrie pour simuler une composition de paysage (méthode GPU)

Le placement de la géométrie dans l'espace a été réalisé à partir de la création d'une grille de points et de l'instanciation d'images sur chaque information de position. Les instances sont calculées et animées à travers un *Geometry Shader*, un traitement d'information de géométrie de façon à la transformer en additionnant des points à la volée ou en les modifiant (« OpenGL - Geometry shaders », s. d.). La transformation des points de position, par le *shader*, vers un champs d'images animées suit l'ordre suivant :

- i. Sur chaque point dans l'espace, un carré de 14 points est instancié [la taille des carrés peut être modifiée interactivement ;
- ii. Chaque carré prend une information de texture (256 x 256 pixels). La texture est tirée d'une des trois images correspondant aux dessins des populations des herbes, des plantes et des arbres. Chaque individu de chaque population occupe 1/4 en hauteur et en largeur de l'image de la population correspondante. [L'individu est choisi aléatoirement dans le spectre de sa population. La population est choisie initialement selon un bruit de Perlin en deux dimensions. Pour le projet final, le choix du placement des espèces suit les informations de couleur d'une autre texture, générée avec un système de *Cellular Automata* (qui sera expliqué postérieurement)] ;
- iii. Les points de la géométrie du carré instanciés sont animés selon un bruit de Perlin en trois dimensions, suivant la logique d'un champs de force (ou *Flow Field*).

- **Modélisation de la structure des plantes : agents autonomes dessinateurs et L-Systèmes**

Concept et fonctionnement

Les dessinateurs sont des systèmes d'agents qui se déplacent sur l'écran en laissant des traces. Ces systèmes ont des capacités limitées de perception et possèdent un comportement autonome et interactif par rapport à l'environnement virtuel défini. Le principe qui guide le déplacement des agents est le calcul de relation entre plusieurs vecteurs (information de direction et magnitude) nommées « forces ». Ces dessinateurs représentent les feuilles et fleurs de la végétation.

Agents et fonctionnalités

Les agents sont des rectangles avec durée de vie, couleur, masse, taille, position, vitesse et accélération comme propriétés. Ces fonctionnalités modifient ses propriétés pour simuler des comportements physiques basiques comme la deuxième loi de Newton de relation entre force, masse et accélération. L'agent peut aussi chercher une cible en modifiant ses propriétés pour l'atteindre, il peut détecter les limites de déplacement dans l'écran et il peut mourir (être effacé de la mémoire) quand sa durée de vie est égale à zéro. Chaque représentation de feuille et de pétale dans le programme est la trace laissée par le déplacement d'un agent.

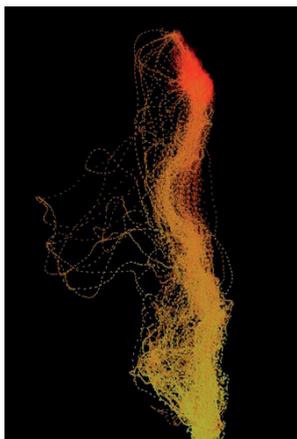


Illustration n° 166. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Image de test de formes végétales dessinées avec des agents autonomes et L-Systèmes

Systemes et fonctionnalités

Le « système » est une façon de gérer et modifier les agents. Ils ont comme propriétés un point d'origine et l'information sur le type de comportement qu'ils doivent adopter (quel type de déplacement ils doivent exécuter). La différence entre les types de déplacement est ce qui va différencier les espèces de végétation. Le système a la fonctionnalité d'appliquer certaines données (forces et données génétiques) à chaque agent de son groupe.

Variation entre les espèces

Il y a trois types de comportements prévus pour le dessin de la végétation et chacun définit une espèce différente.

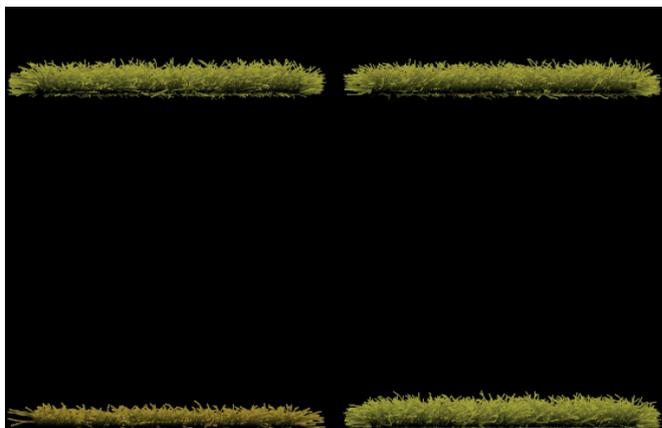


Illustration n° 167. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, L'Herbe dessinée par des agents «vagabonds»

L'HERBE : la fonctionnalité utilisée pour dessiner l'herbe est la capacité de chercher une cible aléatoire dans un cercle dessiné quelques pixels devant lui. Il a donc l'air de « vaguer » ou de « vagabonder » sur l'écran. Bien qu'aléatoire, la cible est limitée ou modelée pour avoir la tendance d'être en (-y) par rapport à la position actuelle de l'agent et pour ne pas varier plus d'un petit angle par rapport à sa valeur actuelle dans le cercle. L'herbe n'a qu'un système d'agents qui ont comme origine des points aléatoires dans la limite inférieure de l'espace disponible du dessin.

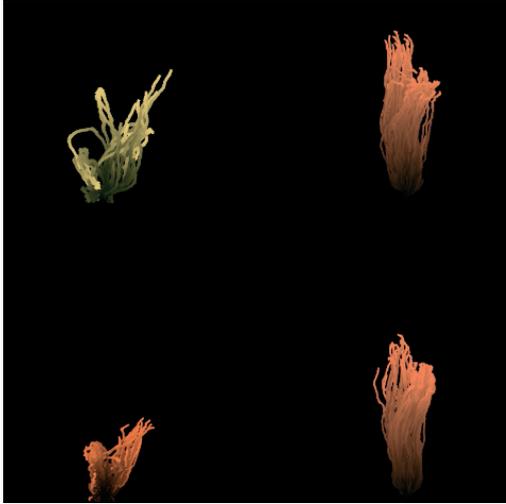


Illustration n° 168. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Plantes dessinées avec des agents autonomes et L-Systèmes

LA PLANTE : il y a deux types de plantes. Les véhicules peuvent suivre le chemin tracé par les points générés par un L-Système (cela produit une plante qui ressemble à un légume) ou chercher une cible (attracteur) qui bouge à chaque intervalle « N » de temps (cela dessine quelque chose qui ressemble à des fleurs, vu la formation de concentrations de traces autour de l'attracteur). Chaque plante n'a qu'un système d'agents, comme l'herbe. Ce système a comme origine, en hauteur, la limite inférieure de l'espace disponible du dessin et, en largeur, la moitié de cet espace.



Illustration n° 169. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Arbres dessinées avec des agents autonomes et L-Systèmes

L'ARBRE : le dessin produit par les lignes générées avec les points du L-Système correspond au tronc de l'arbre. Cette espèce-ci possède autant de systèmes de véhicules que le L-Système possède de branches (*popMatrix*) dans son axiome. Pour chaque branche ou sous-branche, le point d'enregistrement de la matrice a été enregistré pour représenter le point d'origine d'un système d'agents. Les systèmes ressemblent, dans ce cas, à des fleurs ou un organe d'un arbre. La fonctionnalité utilisée pour le déplacement des agents est le même que celui de l'herbe. Ils « vaguent » sur l'écran en cherchant un but aléatoire dessiné sur un cercle plus ou moins loin de sa position actuelle.

Observations

Le mouvement des agents ne considère pas l'axe (Z), il est fait alors en deux dimensions. Un des objectifs d'ouverture technique et artistique du projet est de considérer cet axe pour avoir plus de variété de traces. En 2D, les traces sont plus volumineuses, je pouvais alors avoir moins de véhicules en marche au même temps et avoir un dessin qui occupait plus d'espace dans l'écran rapidement. Pour compenser le manque de profondeur dans le dessin, j'ai manipulé les couleurs des véhicules pour qu'au **début de leur « vie » ils soient plus sombres** et au fur et à mesure de leur déplacement, ils deviennent **plus clairs et saturés**. Cette technique donne l'impression d'illumination des feuillages, comme s'ils se déplaçaient toujours vers un « extérieur » ou « une proximité » de la lumière.

Une autre ouverture possible aurait été d'appliquer les forces calculées avec les données météorologiques directement dans le dessin de la végétation, pour représenter les phénomènes naturels dans l'environnement (Pirk *et al.*, 2016). Cela n'a pas été réalisé car il aurait fallu modifier dynamiquement le chemin ou *path* du L-Système utilisé comme tige ou tronc de la végétation et les expérimentations n'ont pas abouti.

Problématiques

La quantité d'agents dessinés simultanément posait problème. Pour l'installation, cela a été réglé en limitant la complexité de l'axiome des L-Systèmes, la durée de vie et l'intervalle d'émission/dessin de chaque véhicule, ce qui a été compensé par une vitesse maximale plus haute. Pourtant, le dessin complété plus rapidement contrarie la progression douce initialement souhaitée vers sa forme "adulte", tout se passe plus brusquement.

Concept et fonctionnement des L-Systèmes

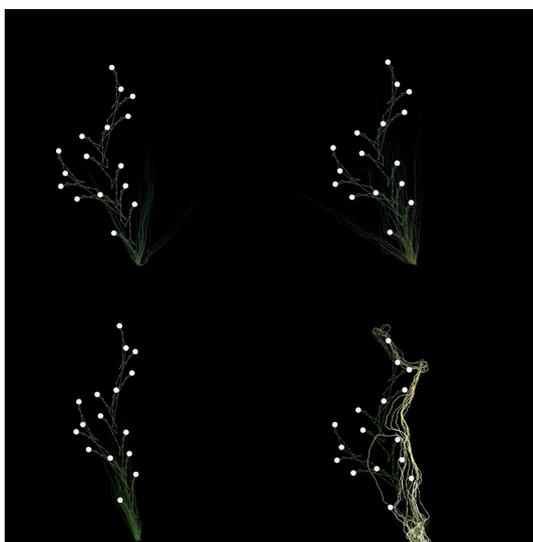


Illustration n° 170. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météo, L-Systèmes pour arbres du projet «Aliaj Angelus»



Illustration n° 171. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, L-Systèmes pour arbres du projet «Aliaj Angelus»

Comme expliqué antérieurement, les L-Systèmes ont été utilisés pour définir la forme d'un type de plante (en étant un chemin à suivre par les véhicules), comme tronc des arbres et comme points d'origine pour les fleurs.

La sentence initiale utilisée est : F-F-F-F.

Il y a trois types d'axiomes utilisés et choisis aléatoirement :

- F[+F]F[-F][F]
- F[+F]F-F
- F-F[F+FF-F]F

La traduction de l'axiome consiste en :

- F : avancer (direction N, où N initial = (0, -length, 0))
- + : rotate N avec l'angle +A
- - : rotate N avec l'angle -A
- [: enregistrer l'état de la matrice (*pushMatrix*)
-] : retourner au dernier point enregistré (*popMatrix*)

Pour pouvoir dessiner le L-Système de façon optimisée, lors de son calcul initial, les points sont enregistrés dans un vecteur et les lignes sont dessinées à partir de ces informations de position. Un autre vecteur a été créé pour enregistrer les positions des fleurs (à chaque reprise de la matrice de position, ou *popMatrix*).

Observations

Les formes issues des expérimentations avec l'espèce « arbre » ne ressemblent pas à un arbre mais plutôt à des buissons à cause de leur dimension et de leur structure. Cela n'a pas posé de problèmes pour le projet vu que le type de végétation représentée ne comporte pas forcément des arbres réalistes. Cela constitue néanmoins une piste de poursuite de la recherche-crédation.

Problématiques

L'ordre (l'index) des points n'a pas été considéré lors de leur enregistrement dans le vecteur de données. A chaque rechargement de la matrice enregistrée (point du bout des branches), la ligne retourne au point d'origine de cette branche, comme l'interprétation littérale de l'axiome. La transition entre les branches et les tiges ne devaient pas être considérée comme points pour le dessin de lignes, mais comme information de déplacement de l'origine de la ligne suivante.

La limitation d'espace pour dessiner chaque espèce ainsi que les performances ont limité la complexité des L-Systèmes ainsi que leur variété. Je ne pouvais pas avoir un axiome avec plus de deux enregistrements de matrice (types de branche, ou “J”) par exemple, sinon la quantité de fleurs de l'arbre aurait été trop grande et, par conséquent, le programme plus lent et moins fluide. Si les points du dessin étaient trop proches, l'algorithme de “*path following*” des véhicules des plantes était gêné, confus, très lent et peu fidèle à la forme du L-Système.

- **Algorithme génétique et données météorologiques : expérimentation sur l'adaptation**

Concept et fonctionnement

Les informations qui déterminent l'apparence des traces laissées par les dessinateurs et des formes créées par le L-Système sont définies par quelques variables appelées « gènes ». Ce groupe d'informations est appelé *DNA*. Les paramètres contrôlés par le *DNA* sont, pour les dessinateurs, les couleurs, la vitesse et la force maximales, l'affinité avec les données météorologiques, la taille de chaque véhicule, sa masse et, dans le cas des plantes, s'ils suivront le chemin du L-Système ou l'attracteur aléatoire. Dans le cas de l'arbre et de l'herbe, les gènes précisent aussi l'angle de variation et la distance de la circonférence où la cible de déplacement se localise. Le L-Système dépend aussi des données du *DNA*. Ils contiennent l'angle de rotation de branches, leur longueur et leur rétrécissement au fur et à mesure des incréments.

Génotype et phénotype

Le génotype est représenté par le système de véhicules qui transmet leurs données « génétiques ». Le *DNA* est un échantillon de quatre variables qui sont *mappées* pour s'adapter au phénotype auquel elles correspondent. Si la première variable détermine l'affinité avec la pluie, par exemple, elle va aussi déterminer la quantité de couleur bleue dans le dessin des véhicules. L'affinité va servir comme multiplicateur dans le calcul d'aptitude de la plante dans un contexte pluvieux. Plus elle aura d'affinité avec la pluie, plus elle sera bleue et plus elle sera apte s'il y a de la pluie dans l'environnement. La même relation est faite avec les autres données d'affinité et de comportement des véhicules et du L-Système. La population de chaque espèce comporte quatre éléments de chaque.

Sélection

La sélection d'éléments les plus aptes est faite avec la qualification des aptitudes à la fin d'une génération. Elles sont *mappées* entre 0 et 100 et cette valeur représente la quantité de fois où son *DNA* va se répéter dans un vecteur de possibles parents appelé « piscine d'accouplement ». L'élément le plus apte aura son *DNA* répété plus de fois dans ce vecteur et donc aura plus de chance d'être choisi comme parent.

Reproduction

Pour générer un nouveau *DNA* basé sur les deux *DNA* plus aptes choisis, une décision aléatoire prend soit le gène d'un parent, soit celui de l'autre parent, soit effectue une moyenne de la valeur des deux. Un enfant est ainsi créé et prend une place dans la population de la nouvelle génération.

Observations

L'application de l'algorithme génétique est important dans le concept du projet car la problématique principale que je souhaitais étudier était l'autonomie des éléments virtuels d'une végétation et son interaction avec un écosystème virtuel. Le but était de simuler un système complexe qui n'a pas de limites temporelles et dont les éléments sont en constante transformation, dans une boucle d'action et de réaction, dans la tentative de s'adapter aux conditions imposées. De cette dynamique, la forme graphique de l'adaptation ressortirait et ce qui serait donné à voir serait « l'effort », le chemin, les formes d'encadrement, les erreurs, les dépassements, l'évolution des éléments au cours du temps. Cette progression graphique d'adaptation est importante dans le projet et dans mon sujet de mémoire, car le dessin / la peinture de paysage est quelque chose de non humanoïde mais néanmoins très expressif. La façon dont je veux utiliser l'expressivité du paysage naturel ne passe pas par des gestes arbitraires mais par la construction d'un environnement virtuel où la végétation réagit librement de façon à dessiner ce que l'environnement lui impose.

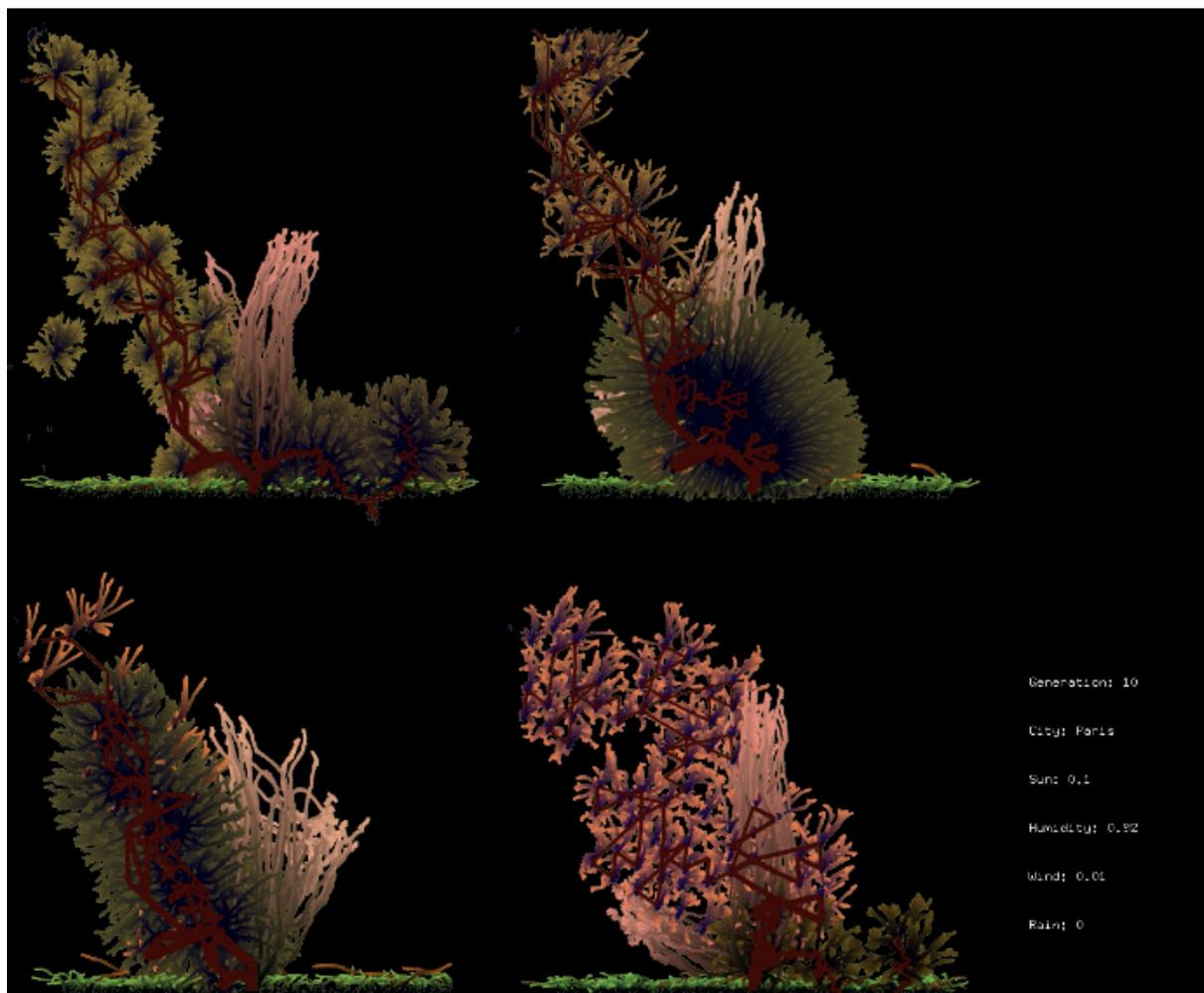


Illustration n° 172. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météo, Visualisation d'une génération de populations de végétation et suivit des informations météorologiques

Problématique

Le plus grand obstacle était de savoir comment montrer **l'évolution de la végétation** avec les formes présentes sur l'écran. La seule réponse trouvée fut de montrer, sur un écran à côté de la projection principale, la végétation en train de se dessiner et de donner ainsi quelques informations sur cette végétation. Avec l'information météorologique et la génération actuelle, on espérait que le spectateur comprenne qu'il y avait un lien entre la météo et les plantes et qu'elles étaient en train de s'adapter aux conditions environnementales décrites. On n'a pas encore trouvé une façon plus instinctive et graphique de montrer les transformations de la végétation au cours du temps. En outre, le changement de génération est très brusque et appelle plus d'attention que ce qui était recherché. Il fallait trouver une solution plus poétique pour la mort d'une végétation.

- Un système de *Cellular Automaton* pour un placement compétitif

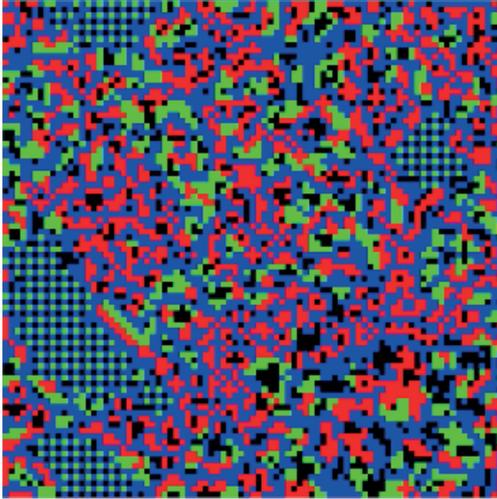


Illustration n° 173. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Possibilité 01 de CA pour placement map

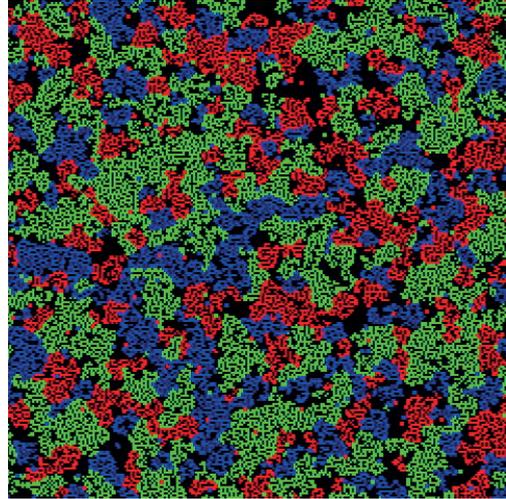


Illustration n° 174. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Possibilité 02 de CA pour placement map

Concept et fonctionnement

Pour avoir une relation de compétition entre les trois espèces de végétation, on a utilisé le concept du “*Game of Life*”. Dans cet algorithme il y a quatre états de végétation : herbe, plante, arbre et vide (ou mort). A chaque changement de génération dans le programme, l’état des pixels évolue selon quelques règles et conditions. L’image par cette dynamique entre les pixels sert de la référence ou “*map*” de placement des images des espèces sur le terrain.

Interaction entre les individus de chaque espèce/population

Les conditions classiques de l’algorithme du « *Game of Life* » ont été maintenues. Elles sont : mort par solitude, mort par surpopulation et reproduction par deux ou trois voisins de la même espèce (du même état). Ces conditions changent légèrement entre chaque état, l’herbe par exemple meurt difficilement par surpopulation contrairement à l’arbre.

Interaction entre les espèces/populations

Un état d’herbe ne peut pas se transformer en état de plante ou d’arbre car génétiquement cela n’a pas de sens sur une courte échelle de temps. Pourtant, il y a des relations entre les états qui entraînent la mort de l’un ou de l’autre. L’herbe, avec plus de deux voisins arbres par exemple, meurt.

Observations et problématiques

Le plan de placement ou *placement map* était conceptuellement une idée intéressante car elle représentait de façon très simple, symbolique et claire le type d'évolution au cours du temps et la relation autonome souhaitée dans le projet. Mais c'était une technique compliquée à mettre en place. D'abord parce qu'elle a exigé plusieurs expérimentations avec les conditions de vie et de mort ; parfois les chiffres qui faisaient sens dans le programme donnaient un résultat confus et inutile visuellement. L'ordre des pixels n'a pas été respecté dans le placement de la végétation car l'ordre des indices de *vertices* de la géométrie du terrain n'est évidemment pas la même que celle d'une image, en forme de liste à deux dimensions. Les indices sont ordonnés de façon à former des triangles ou des quadrilatères et on n'a pas réussi à avoir une liste de la séquence linéaire des *vertices* sur *Openframeworks* pour bien mapper le « *Game of Life* ».

- Interaction et extension de l'image avec du *Head-tracking*



Illustration n° 175. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Visualisation du 'patch' de manipulation du système de Headtracking sur Touchdesigner

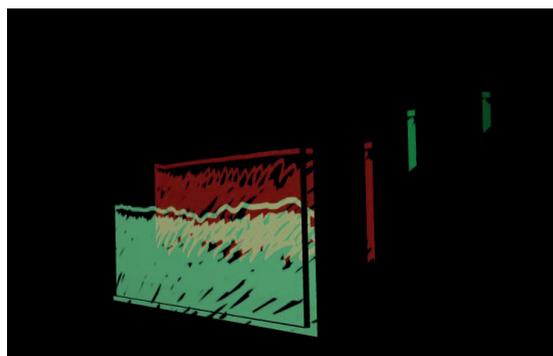


Illustration n° 176. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Visualisation du 'patch' de manipulation du système de Headtracking sur Touchdesigner

Le système de *head-tracking* a été implémenté dans l'installation pour reproduire le point de vue de la peinture, en réponse à notre questionnement sur la manière de provoquer chez le spectateur une attitude poétique. Notre intention initiale était d'élargir la peinture de Millet, spatialement, temporellement et conceptuellement. Compte tenu du fait que la construction du paysage dans un contexte de réalité virtuelle immersive n'a pas été atteint, l'utilisation d'un système de parallaxe interactif pouvait suggérer l'ouverture spatiale recherchée.

Le *head-tracking* fonctionne avec la détection de la position de la tête d'un seul spectateur et la transformation du paysage en profondeur par rapport aux mouvements de cette personne. De cette manière, avec le mouvement de la tête, le spectateur peut observer et explorer des espaces périphériques dans le paysage de l'installation qui ne sont pas offerts au regard par le cadrage initial. Au-delà d'un hors champs envisagé à l'exploration, le point de vue est aussi

relatif à la position de la tête captée. La caméra de la scène en 3D, en étant liée aux mouvements du spectateur, peut assumer plusieurs points de vue (plongée et contre-plongée par exemple) en gardant le point d'intérêt de l'image sur un cadre fixe de la taille spécifique. L'espace de la peinture devient une suggestion d'une vue par une fenêtre, par l'effet de parallaxe associé au cadre fixe sur une ouverture carrée vers la scène.

L'idée de fenêtre vers un paysage est une notion qui mérite d'être exploitée techniquement et poétiquement dans le cadre de la continuation de cette recherche créative, car elle relie potentiellement le médium de l'installation à celui de la peinture comme médiums de création susceptibles d'augmenter un espace physique en suggérant des propositions imaginaires, une possibilité de quête artistique qui rappelle aussi la phrase de Christopher Langdon sur la Vie Artificielle comme milieu de « *vie telle qu'elle pourrait-être* ».

Observations et problématiques

Pour mettre le système de *head-tracking* en place, la scène a dû être transmise en temps réel vers **Touchdesigner** avec une coupure de l'image en profondeur réalisée avec quatre caméras d'extraits de champs-de-vision ou *clip-planes* différents et progressifs. Les points de vue de chaque caméra créaient des couches destinées à être déplacées selon le mouvement de parallaxe du paysage par le mouvement de la tête du spectateur. Ce processus, en plus d'être coûteux pour la performance du programme, compromet la notion de profondeur de l'image, fondement de construction visuelle et technique du paysage virtuel dans le contexte de cette recherche. Pourtant, l'interaction et l'immersion, même légères, rendues possibles par l'application de cette technique, ont été importantes pour l'idée de transformation de la peinture en espace virtuel en trois dimensions.



Illustration n° 177. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie,
Installation mise en place, ATI - Paris 8

3.1.3 RÉSULTAT ET INNOVATIONS

L'innovation proposée par l'installation réside dans la génération de plantes à partir de tracés créés par le déplacement d'agents autonomes, technique développée dans le cadre de cette recherche à travers l'expérimentation avec les systèmes simples et complexes. Suite à la découverte de la possibilité de dessiner avec des systèmes, j'ai pu rejoindre d'autres chercheurs qui explorent cette même voie de création (McCormack, 2017) pour ouvrir et approfondir mon discours et pratique dans la continuation de l'exploration du potentiel créatif dans l'étude de la vie artificielle, des écosystèmes et de la complexité.

Le but de création d'un paysage génératif et évolutif a été atteint, mais en partie seulement car il manque l'application de concepts plus avancés dans le domaine des écosystèmes virtuels comme la mise en place d'un vrai système de boucle de rétroaction et une interaction directe entre les éléments du paysage et l'environnement. Il reste encore la quête d'une poésie artistique dans les dynamiques d'échange entre les éléments d'un paysage virtuel de façon à permettre la fameuse émergence, processus exposé longuement sur un plan théorique mais encore peu expérimenté en pratique. Lors d'un prochain projet, il serait intéressant de développer un contexte virtuel de registre visuel, sous la forme d'un dessin de paysage autonome créé par les processus interactifs endogènes d'un écosystème virtuel. Les dessins seraient les traces laissées par l'effort de survie et d'adaptation des éléments.

L'installation « *Aliaj Angelus* » a été exposée lors de la présentation des projets créés au cours des semaines intensives de la formation en Arts et Technologies de l'Image Virtuelle, en janvier 2017. L'image générative et évolutive a été projetée sur une surface d'approximativement 3 mètres en largeur et 2 mètres en hauteur, ce qui s'est approché des proportions de l'image de l'échelle réelle. Le spectateur devait se positionner à deux mètres de distance de la projection pour interagir avec l'installation. À côté de l'image du paysage, un écran montrait les plantes générées en temps-réel avec les informations météorologiques et leur génération génétique correspondante.

Le retour des spectateurs sur l'installation a été positif. Ils ont eu des réactions qui exprimaient de la compréhension et de la curiosité par rapport aux processus de création et d'évolution des images montrées. Le rapport avec la peinture « l'Angélus » de Millet a été un point conceptuel de forte identification poétique. Comme la peinture est connue et qu'elle est chargée de signification et d'interprétation historiques, les spectateurs s'intéressaient au discours sur les possibles connexions parallèles artistiques entre l'installation et la peinture. L'aspect évolutif a été visuellement plus discret et, peut-être pour cette raison, a suscité moins d'intérêt et de curiosité de la part du public.



Illustration n° 178. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie,Image de l'animation de l'installation final en plusieurs moments différents de la journée, (moment 02)



Illustration n° 179. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie,Image de l'animation de l'installation final en plusieurs moments différents de la journée, (moment 01)

3.2 AUTRES EXPÉRIMENTATIONS : DESSINS ET PAYSAGES ÉMERGENTS

Après avoir terminé le projet d'installation « *Aliaj Angelus* », nous avons poursuivi l'exploration de quelques concepts issus de notre recherche et dont la transposition sur d'autres prototypes d'installation nous paraissait intéressante.

Les nouvelles expérimentations ont été réalisées dans le cadre d'un échange international Erasmus à Linz en Autriche, dans la formation *Interface Culture* dirigée par **Christa Sommerer** et **Laurent Mignonneau**. Lors de mon séjour à Linz, la recherche développée dans le premier semestre à Paris a dû être formulée et expliquée de façon à devenir compréhensible et discutable dans le contexte d'une création artistique destinée à être exposée.

Cette opportunité d'exposition des créations offerte aux élèves ainsi que la philosophie et la pédagogie mise en œuvre dans cette formation *Interface Culture* nous ont amenés à conceptualiser de manière critique et innovante les propositions développées en France pour les insérer dans le champs de l'art numérique contemporain et les mettre en tension avec le discours artistique d'autres créations et d'autres créateurs.

3.2.1 CONVERSATIONS ET SYSTÈMES COMPLEXES



Illustration n° 180. Autres expérimentations : Dessins et paysages émergents - Conversations et systèmes complexes



Illustration n° 181. Autres expérimentations : Dessins et paysages émergents - Conversations et systèmes complexes

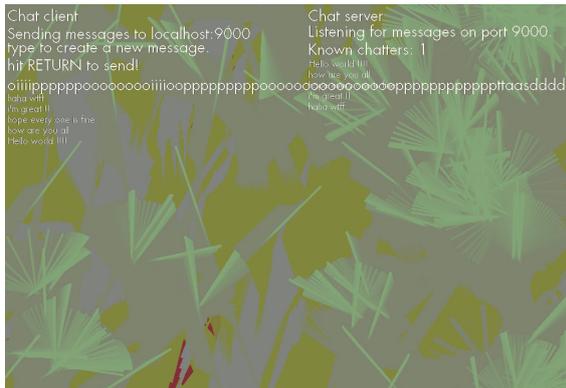


Illustration n° 182. Autres expérimentations : Dessins et paysages émergents - Conversations et systèmes complexes



Illustration n° 183. Autres expérimentations : Dessins et paysages émergents - Conversations et systèmes complexes

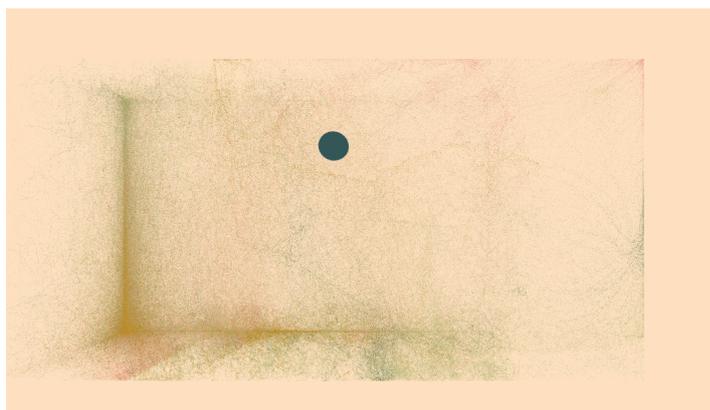
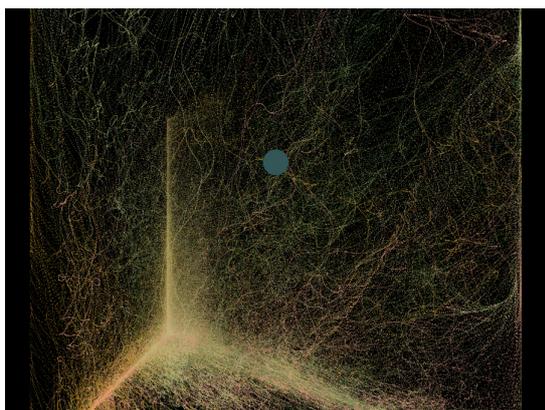
La première des nouvelles expérimentations, également réalisées en binôme avec Alexandre, était pensée dans le cadre du *workshop* nommée « *Critical Design* » (la proposition était de créer une manifestation artistique critique par rapport à un des sujets discutés en classe). Le sujet choisi était la communication et la difficulté identifiée dans la compréhension entre deux personnes lors d'une conversation. Nous avons aussi parlé de systèmes et de complexité lors de la discussion en groupe, comme concepts intéressants à explorer au regard des conflits actuels dans le monde ou, encore, de la difficulté de compréhension résultant des interactions dans un système de sociétés ayant des intérêts divergents.

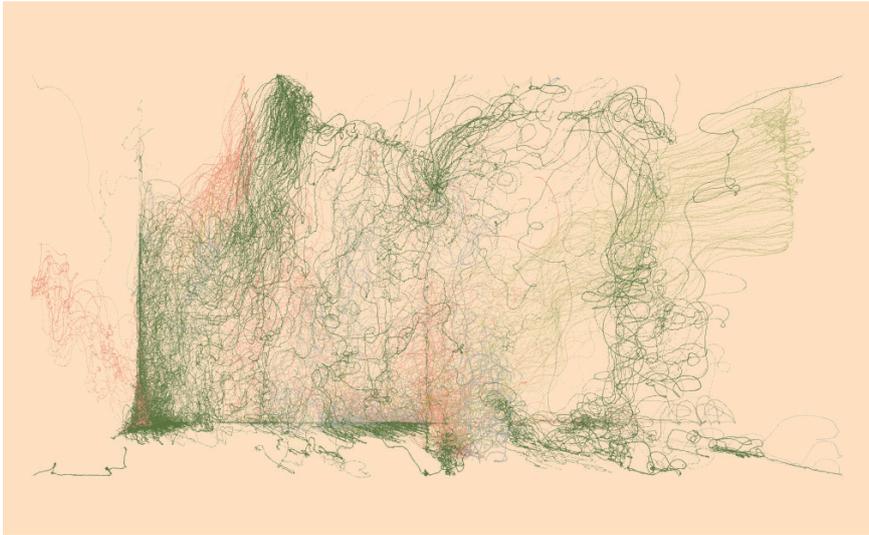
La discussion nous a donné envie de mettre en place un prototype d'installation interactive sous la forme d'un *chat* (plate-forme de conversation virtuelle à distance entre deux personnes). Dans ce *chat*, chaque lettre tapée a été liée à une règle de comportement d'un système de *boids*, programmée selon l'algorithme développé par **Craig Reynolds** (cf. chapitre 2). Nous avons ainsi créé un vocabulaire qui guide un système complexe.

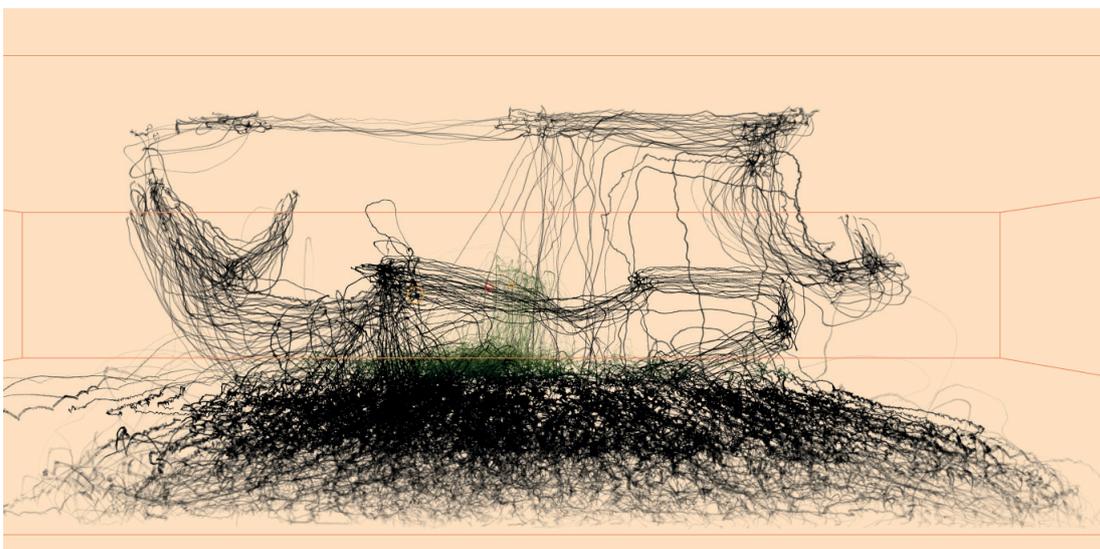
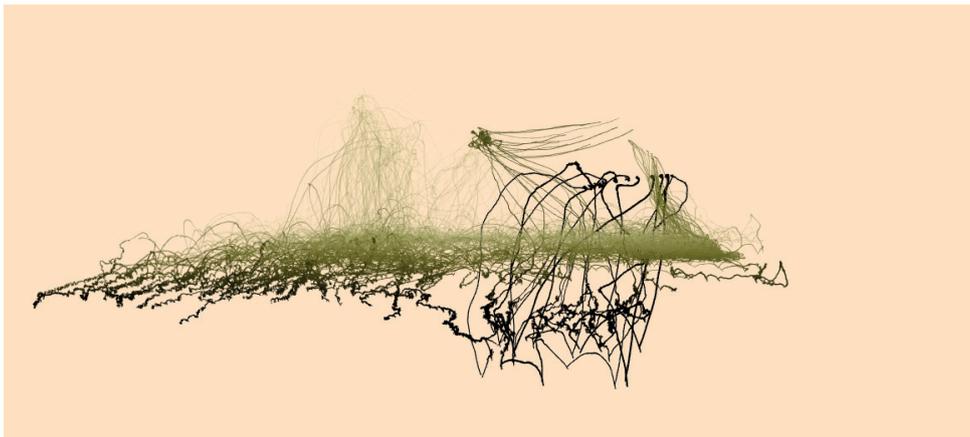
Pendant la performance de conversation, nous avons montré que, symboliquement et par comparaison, une conversation comme type d'interaction basique entre deux personnes a le potentiel pour créer un contexte chaotique et imprévisible. L'émergence de comportements étranges du système de *boids* a été causée par l'interprétation aléatoire des lettres et par le manque de connaissance des interlocuteurs par rapport à l'effet de chaque lettre sur le programme. Le sens de la présentation était que la compréhension entre deux individus à travers une simple conversation est sensible à l'interprétation et peut générer des réactions imprévisibles, émergentes.

3.2.2 DESSINATEURS DE PROFONDEUR

La notion de profondeur dans une image de paysage s'est révélée être un grand défi personnel de représentation dans un environnement virtuel. Je voulais donc continuer à explorer cet aspect visuel et technique dans une petite expérimentation. Pour cela, j'ai repris le système d'agents autonomes dessinateurs créé pour « *Aliaj Angelus* », en ajoutant quelques fonctionnalités comme le *Flow Field* et la résistance des fluides. Les agents sont créés par le tracé de la souris pour se déplacer de façon variée selon leur position en profondeur dans un espace limité de forme parallélépipédique. La couleur, en plus des fonctionnalités de locomotion et des propriétés physiques, est modifiée selon la position des agents en profondeur. L'expérimentation avec les types de mouvement, interactions endogènes (fonctionnalités de agents), interactions exogènes (par l'utilisation du geste du dessin du spectateur) et les couleurs (dans l'essai de créer une perspective chromatique) alimente ma recherche sur la création d'un paysage émergent du geste du dessin assisté par des agents autonomes.







3.2.3 DESSINATEURS DE PORTRAITS

L'expérimentation avec les dessinateurs en profondeur a ouvert la réflexion sur une autre utilisation de l'outil de dessin, cette fois-ci pour former des images issues de la captation vidéo. Le projet a été réalisé en binôme avec **Alexandre Gomez** qui s'est occupé de l'adaptation du système à ce nouveau concept. Dans cette nouvelle version des dessinateurs, la couleur des agents autonomes devient la couleur des pixels de l'image de la vidéo. Le rythme est donc établi par le mouvement des individus qui recréent les formes captées par la vidéo sont construites par l'accumulation des individus. Une vidéo en deux dimensions se trouve ré-dessinée, des agents autonomes la font émerger en profondeur. Plusieurs sujets de vidéo ont été expérimentés mais le type d'image captée retenu a été le portrait. Cela pour trois raisons :

- i. Par la connaissance préalable de la nature de l'image par le positionnement de la caméra, face au spectateur ;
- ii. Par l'identification et l'empathie créée avec l'image de soi en train de se construire ;
- iii. Par la comparaison, claire et directe, entre réalité et représentation établie par l'interprétation graphique d'une image miroir.

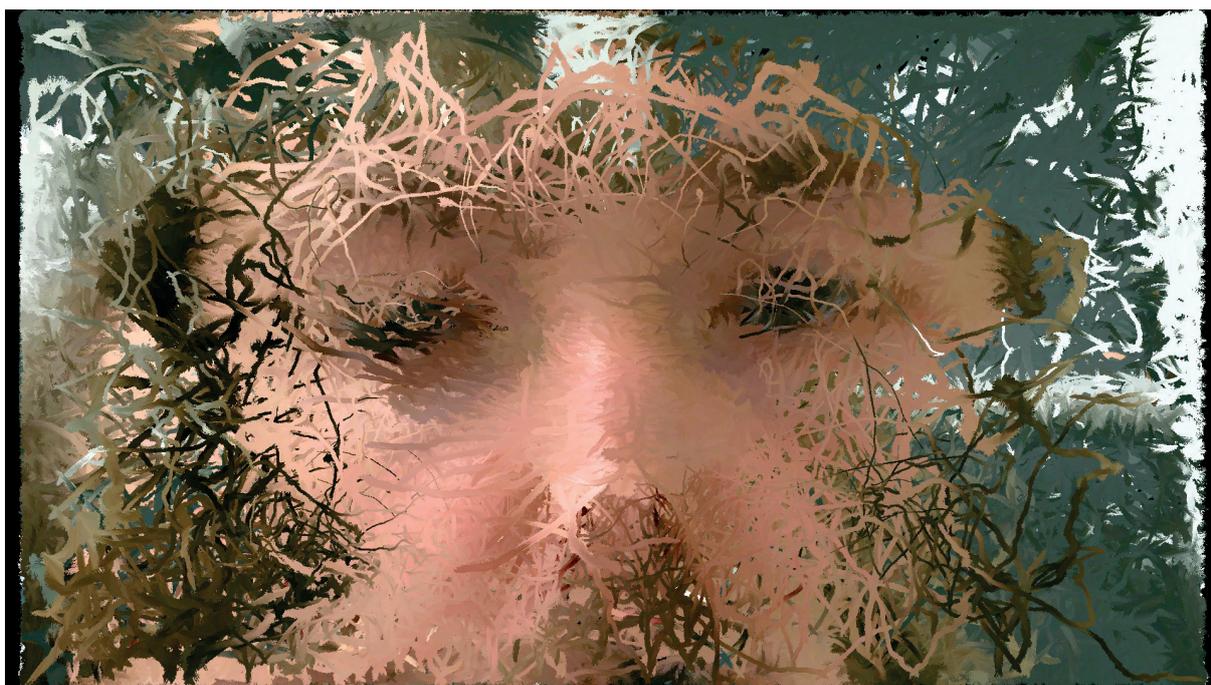
Conclusion des expérimentations

Par la recherche sur des algorithmes de vie artificielle, j'ai pu percevoir l'intérêt croissant de ce sujet dans une visée artistique et créative. **Jon McCormack**, **Philip Galanter** et **Daniel Shifman** sont ainsi des chercheurs et contributeurs actifs possédant une connaissance contemporaine en informatique, en computation graphique et en esthétique que j'ai eu plaisir à découvrir lors de ma recherche personnelle dans cette deuxième année de master.

Pour créer des propositions artistiques autour d'un sujet qui demande des connaissances techniques, il faut connaître ces techniques et les expérimenter. C'était une première approche fondée sur une curiosité et sur l'intuition artistique d'un potentiel poétique dans l'utilisation des algorithmes de vie artificielle dans un but de création. Cette intuition est confortée par l'observation de la démarche d'autres personnes s'intéressant à cette approche hybride entre science et art. Pourtant, il reste encore beaucoup d'autres concepts à développer et à expérimenter pour que l'objectif de construction d'un paysage évolutif soit atteint pleinement.

Une première auto-critique sur ma démarche créative et académique serait un manque de connaissances et d'informations sur le champs d'étude de l'esthétique du paysage et de la vie artificielle. Ce manque est apparu quand il s'est agi de positionner et de défendre le potentiel d'innovation de mes propositions et créations artistiques dans le contexte de l'art contemporain.

Visuellement, le résultat pourrait être amélioré par une réflexion et une expérimentation plus poussées car il présente actuellement une trop grande homogénéité (les traits colorés laissés par des agents locomoteurs dont toujours de forme géométrique primitive). Le comportement et la progression de l'image ont été travaillés et ont évolué au cours des recherches en programmation, mais une nouvelle étape de recherche sur le développement visuel permettrait de complexifier les formes, les couleurs et aussi de leur donner un comportement et une évolution propres et individuels.



Conclusion

La problématique fondamentale de cette recherche portait sur « **comment et pourquoi créer un paysage virtuel évolutif ?** », dans une approche expressive visant à exploiter les connaissances sur la vie artificielle pour explorer les possibilités symboliques et esthétiques de la représentation artistique du paysage.

Concomitamment à la conception du projet final et à l'écriture du présent mémoire, j'ai pu réaliser des expérimentations en partant de concepts mathématiques et algorithmiques basiques qui m'ont permis d'acquérir un socle solide de connaissances en programmation. Ces expérimentations m'ont apporté les bases nécessaires dans le domaine de l'informatique évolutionnaire et de la programmation d'images génératives plus avancées. Au-delà de la réflexion sur l'esthétique qui se développait lors des expérimentations, l'objectif visé était d'acquérir des connaissances techniques et théoriques.

Sur le plan théorique, cette recherche m'a fourni d'une part des références et, d'autre part, une grande motivation pour défendre ce projet de création d'un paysage virtuel à l'aide d'algorithmes de vie artificielle : le paysage vu comme une manière de représenter la beauté de la transformation, de prendre le processus intelligent comme sujet, sous sa forme à la fois la plus évidente et la plus mystérieuse : la nature elle-même. Une métaphore de la trajectoire du vivant, montrée par le concept scientifique de la vie.

Si les réponses conceptuelles à la question « **pourquoi** » m'ont apporté de l'inspiration, les réponses techniques et esthétiques au « **comment** » ont ouvert des portes sur de nouvelles manières de montrer ce processus d'effort et de poursuite d'une volonté, observées dans l'attitude programmée et sous le format d'image autonome et animée.

Cette recherche s'ouvre sur de nouvelles perspectives d'investigation :

- les notions du **geste** et de l'**esthétique** du **dessin** par exemple, liées à l'**interaction endogène** et **exogène dans le processus de création d'une image**. Bien que prégnants dans les nombreuses expérimentations réalisées, ces notions constituent chacune un sujet d'étude ;

- la construction d'un **écosystème** virtuel, en tant que système dynamique qui guide l'autonomie des agents dessinateurs du paysage, n'a pas été menée à terme. Bien que le concept de coopération et de compétition pour l'espace soit présent, l'idée de boucle de **rétroaction** (feedback loop) est réduite par l'absence d'un système de **ressources et d'échanges énergétiques** ainsi que d'un calcul de « santé » des individus ;

- pour atteindre l'objectif de découverte expressive du paysage virtuel par le système développé dans le cadre de cette recherche, il faudrait améliorer, rendre plus clair et plus intelligible le dialogue établi entre le comportement des agents qui dessinent l'image et le spectateur qui est lui-même agent dessinateur.

BIBLIOGRAPHIE

- ANASTACIO, F., SOUSA, M. C., SAMAVATI, F. & JORGE, J. A., (2006), Modeling Plant Structures Using Concept Sketches, In : *Proceedings of the 4th International Symposium on Non-photorealistic Animation and Rendering*, ACM, New York, NY, USA, p. 105–113.
- BARTHÉLÉMY, S., BURATTI-HASAN, S., AMBROISE, G. & KERVRAN, S., (2016), *Nature silencieuse : Paysages d'Odilon Redon*, Snoeck, Gent, 264 p.
- BOURRIAUD, N., (1998), *Esthétique relationnelle*, Les Presses du réel, Dijon, 122 p.
- COGEVAL, G., LOCHNAN, K., STOEBER, M. & NASGAARD, R., (2017), *Catalogue d'exposition : Au-delà des étoiles. Le paysage mystique de Monet à Kandinsky*, Musée d'Orsay / Réunion des musées nationaux, 272 p.
- COUCHOT, E., (1996), LES PROMESSES DE L'HYBRIDATION NUMÉRIQUE, Prolongement et renouvellement des arts figuratifs, In : *X, l'oeuvre en procès*, Publications de la Sorbonne.
- COUCHOT, E. & HILLAIRE, N., (2003), *L'art numérique*, Flammarion, Paris.
- COUCHOT, E., TRAMUS, M. H. & BRET, M., (2003), A segunda interatividade. Em direção a novas práticas artísticas, In : *Arte e vida no século XXI*, UNESP, Brésil.
- DAMIANI, J., (2016, juin 16), Storytelling in Virtual Reality: The Basics, *Huffington Post*.
- DEUSSEN, O. & LINTERMANN, B., (2005), *Digital Design of Nature - Computer Generated Plants and Organics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 295 p.
- FLAKE, G. W., (2000), *The Computational Beauty of Nature: Computer Explorations of Fractals, Chaos, Complex Systems, and Adaptation*, A Bradford Book, Cambridge, Mass., 514 p.
- GALANTER, P., (2003), What is generative art? Complexity theory as a context for art theory, In : *In GA2003–6th Generative Art Conference*.
- GALANTER, P., (2008), Complexism and the role of evolutionary art, In : *The Art of Artificial Evolution*, Springer Berlin Heidelberg, p. 311–332.
- GALANTER, P., (2010), The problem with evolutionary art is..., In : *European Conference on the Applications of Evolutionary Computation*, Springer, p. 321–330.
- GARCIA, D., QUILEZ, I., DIXON, D., FEDOROV, A., KURUC, M. & FONG, S. F., (2015), Environment Rendering Optimization for Pixar's the Good Dinosaur, In : *ACM SIGGRAPH 2015 Talks*, ACM, New York, NY, USA, p. 62:1–62:1.
- HEUDIN, J.-C., (2008), *Les créatures artificielles : Des automates aux mondes virtuels*, Editions Odile Jacob, Paris, 494 p.
- MAGAZINE DU GRAND PALAIS, (2013), Le pointillisme, *RMN - Grand Palais*.
- MCCORMACK, J., (2007), Artificial Ecosystems for Creative Discovery, In : *Proceedings of the 9th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation*, ACM, New York, NY, USA, p. 301–307.

- MCCORMACK, J., (2012), Creative Ecosystems, In : *Computers and Creativity*, Springer, Heidelberg, p. 39-60.
- MCCORMACK, J., (2017), Niche Constructing Drawing Robots, *EvoMUSART 2017*, p. 201–216.
- PERTUSI, L., QUÍLEZ, Í. & KLOCEK, N., (2016), Procedural Terrains on Pixar's The Good Dinosaur, In : *ACM SIGGRAPH 2016 Talks*, ACM, New York, NY, USA, p. 54:1–54:2.
- PIRK, S., BENES, B., IJIRI, T., LI, Y., DEUSSEN, O., CHEN, B. & MĚCH, R., (2016), Modeling Plant Life in Computer Graphics, In : *ACM SIGGRAPH 2016 Courses*, ACM, New York, NY, USA, p. 18:1–18:180.
- PRUSINKIEWICZ, P. & MOLT, W., (1996), *The Algorithmic Beauty of Plants*, Springer-Verlag New York Inc., New York, 228 p.
- REDON, O., (1989), *A soi-même. Journal 1867-1915*, José Corti Editions, États-Unis, 188 p.
- REEVES, W. T., (1983), Particle Systems—a Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects, *ACM Trans. Graph.*, vol. 2, n°2, p. 91–108.
- RESNICK, M., (1997), *Turtles, Termites & Traffic Jams – Explorations in Massively Parallel Microworlds*, MIT Press, Cambridge, Mass., 174 p.
- REYNOLDS, C. W., (1987), Flocks, Herds and Schools: A Distributed Behavioral Model, In : *Proceedings of the 14th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, ACM, New York, NY, USA, p. 25–34.
- REYNOLDS, C. W., (1999), Steering Behaviors For Autonomous Characters, *proceedings of Game Developers Conference*, San Jose, California, p. 763-782.
- SCHAPIRE, R., (2008, février 4), COS 511: Theoretical Machine Learning.
- SHIFFMAN, D., (2012), *The Nature of Code: Simulating Natural Systems with Processing*, The Nature of Code, S.l., 520 p.
- SIMS, K., (1994), Evolving Virtual Creatures, In : *Proceedings of the 21st Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, ACM, New York, NY, USA, p. 15–22.
- SNOW, C. P., (2013), *The Two Cultures and the Scientific Revolution*, Martino Fine Books, Mansfield Center, CT, 66 p.
- TU, X. & TERZOPOULOS, D., (1994), Artificial Fishes: Physics, Locomotion, Perception, Behavior, In : *Proceedings of the 21st Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, ACM, New York, NY, USA, p. 43–50.

WEBOGRAPHIE

- AMORY, D., (2004, octobre), Georges Seurat (1859–1891) and Neo-Impressionism | Essay | Heilbrunn Timeline of Art History | The Metropolitan Museum of Art. http://www.metmuseum.org/toah/hd/seni/hd_seni.htm (page consultée le 24/03/17)
- AMORY, D., (2007, mars), The Barbizon School: French Painters of Nature | Essay | Heilbrunn Timeline of Art History | The Metropolitan Museum of Art, *The Met's Heilbrunn Timeline of Art History*. http://www.metmuseum.org/toah/hd/bfnp/hd_bfnp.htm (page consultée le 24/03/17)
- AURICCHIO, L., (2004, octobre), The Transformation of Landscape Painting in France | Essay | Heilbrunn Timeline of Art History | The Metropolitan Museum of Art. http://www.metmuseum.org/toah/hd/lafr/hd_lafr.htm (page consultée le 24/03/17)
- COUCHOT, E., (s. d.), ART NUMÉRIQUE, Encyclopædia Universalis. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/art-numerique/> (page consultée le 24/03/17)
- ENCYCLOPEDIA.COM, (2017, mars 30), « Landscape in the Arts. » New Dictionary of the History of Ideas., *Encyclopedia.com*. <http://www.encyclopedia.com/history/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/landscape-arts> (page consultée le 31/03/17)
- επιπλωματα, (2016, janvier 11), Why VR « Storytelling » does not currently work. And can it ever work?, *Medium*. <https://medium.com/mobile-lifestyle/why-vr-storytelling-does-not-currently-work-and-can-it-ever-work-728ff15efb1c> (page consultée le 13/04/17)
- GALANTER, P., (s. d.), Philip Galanter » Research. <http://philipgalanter.com/research/> (page consultée le 04/05/17)
- GONZALEZ VIVO, P. & LOWE, J., (2015), The Book of Shaders, *The Book of Shaders*. <https://thebookofshaders.com/01/?lan=fr> (page consultée le 24/03/17)
- HARKENRIDER, J., (s. d.), How virtual reality is changing storytelling, *Mashable*. <http://mashable.com/2017/02/09/virtual-reality-storytelling-changing/> (page consultée le 13/04/17)
- HOE, D., (s. d.), Generative Art Mining, finalistes, DevArt. Le code au service de l'art. <https://devart.withgoogle.com/fr> (page consultée le 11/04/17)
- IDIXA, (s. d.), Le peintre Parrhasius a vaincu Zeuxis, car on pouvait compter sur lui pour nous tromper - [Zeuxis, l'enfant et les raisins (Anonyme au musée de l'Hermitage)]. <http://www.idixa.net/Pixa/pagixa-0901271856.html> (page consultée le 17/04/17)
- ISAL, (s. d.), The International Society for Artificial Life. <http://alife.org/> (page consultée le 03/05/17)
- JOBSON, C., (2016, octobre 21), Digital Artist Mike Winkelmann Creates Daily Conceptual Illustrations Spanning Nearly a Decade, *Colossal*.
- KUROKAWA, R., (s. d.), Project rheo : 5 horizons. <http://www.ryoichikurokawa.com/project/r5h.html> (page consultée le 10/04/17)
- LAROUSSE, É., (s. d.), Définitions : paysage - Dictionnaire de français Larousse. <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/paysage/58827> (page consultée le 31/03/17)
- LIVE CODING, (2017, avril 21), In : *Wikipedia*.

- LVM/AWESOME-LIVECODING, (s. d.), *GitHub*. <https://github.com/lvm/awesome-livecoding> (page consultée le 12/04/17)
- MARSHMALLOW LASER FEAST (MLF), (s. d.), *In the Eyes of the Animal*. <http://www.iteota.com/> (page consultée le 11/04/17)
- MAXON COMPUTER, (2017), *Cinema 4D, MAXON | 3D FOR THE REAL WORLD*. <https://www.maxon.net/fr/produits/cinema-4d/cinema-4d/> (page consultée le 09/04/17)
- MUSÉE D'ORSAY: JEAN-FRANÇOIS MILLET L'ANGÉLUS, (s. d.). http://www.musee-orsay.fr/index.php?id=851&tx_commentaire_pi1%5BshowUid%5D=339 (page consultée le 28/04/17)
- OPENGL - GEOMETRY SHADERS, (s. d.). <https://open.gl/geometry> (page consultée le 28/04/17)
- OXFORD DICTIONARIES, (s. d.), *landscape - definition of landscape in English | Oxford Dictionaries, Oxford Dictionaries | English*. <https://en.oxforddictionaries.com/definition/landscape> (page consultée le 06/05/17)
- PASQUIER, P., (s. d.), *Generative Art and Computational Creativity | Kadenze, Kadenze*. <https://www.kadenze.com/courses/generative-art-and-computational-creativity-i/info> (page consultée le 25/03/17)
- QUAYOLA, (s. d.-a), *Pleasant Places*. <https://www.quayola.com/pleasant-places/> (page consultée le 10/04/17)
- QUAYOLA, (s. d.-b), *PP-3D-Scans*. <https://www.quayola.com/pp-3d-scans/> (page consultée le 10/04/17)
- QUAYOLA, (s. d.-c), *Quayola*. <https://www.quayola.com/> (page consultée le 02/05/17)
- QUILEZ, I., (s. d.), *Inigo Quilez :: fractals, computer graphics, mathematics, demoscene and more*. <http://www.iquilezles.org/> (page consultée le 11/04/17)
- REYNOLDS, C., (s. d.), *Evolutionary Computation*. <http://www.red3d.com/cwr/evolve.html> (page consultée le 16/04/17)
- SHIFFMAN, D., (s. d.), *Daniel Shiffman - Learning creative code*. <http://shiffman.net/> (page consultée le 12/04/17)
- SIMS, K., (s. d.), *Genetic Images Interactive Exhibit*. <http://www.karlsims.com/genetic-images.html> (page consultée le 16/04/17)
- SOMMERER, C. & MIGNONNEAU, L., (s. d.-a), *Home Page Christa Sommerer&Laurent Mignonneau*. <http://www.interface.ufg.ac.at/christa-laurent/> (page consultée le 15/04/17)
- SOMMERER, C. & MIGNONNEAU, L., (s. d.-b), *Laurent Mignonneau & Christa Sommerer - Artiste - Galerie Charlot | Art contemporain, Paris*. <http://www.galeriecharlot.com/fr/48/Laurent-Mignonneau-Christa-Sommerer> (page consultée le 15/04/17)
- STANFORD UNIVERSITY, (s. d.), *A discussion of The Game of Life*. <http://web.stanford.edu/~cdebs/GameOfLife/> (page consultée le 25/04/17)
- THE AMERICAN HERITAGE® SCIENCE DICTIONARY, H. M. C., (s. d.), *Ghost cell | Define Ghost cell at Dictionary.com, Dictionary.com*. <http://www.dictionary.com/browse/ghost-cell> (page consultée le 11/04/17)
- THORP, J., (s. d.), *SmartRockets*. <http://www.blprnt.com/smartrockets/> (page consultée le 26/04/17)

ULATOWSKI, S. & KOMOSINSKI, M., (s. d.), 3D simulation and evolution | Framsticks. <http://www.framsticks.com/> (page consultée le 16/04/17)

VIRTUAL REALITY SOCIETY, (2015, décembre 24), What is Virtual Reality?, *Virtual Reality*. <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/what-is-virtual-reality.html> (page consultée le 13/04/17)

XIAO, E., (2016, septembre 15), VR will not be the new paradigm for storytelling. Here's why., *Tech in Asia*. <https://www.techinasia.com/virtual-reality-storytelling> (page consultée le 13/04/17)

VIDEOGRAPHIE

BOB ROSS, (1983), *Bob Ross - Mystic Mountain (Season 20 Episode 1)*, États-Unis.

DELACH, A., (2015, septembre 17), GHOST CELL - TRAILER, *Vimeo*. <https://vimeo.com/139651679> (page consultée le 11/04/17)

FRAMSTICKS, (2014), *Framsticks: Evolved running, swimming, and ski-jumping*.

XIAOYUANTU, (2006, septembre 13), Go Fish! https://www.youtube.com/watch?v=aP1_XkCdAaE (page consultée le 16/04/17)

ÉMISSIONS RADIO

DE LOISY, J. & ADAM-COURALET, S., (2014, novembre 8), Lumière et couleur, la théorie de Goethe (le matin après le déluge), de JM William Turner, *France Culture*.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Illustration n° 1. William Turner, «Lumière et couleur (la théorie de Goethe) - Le lendemain du déluge, Moïse écrivant le livre de la genèse», (1843), Tate Britain, Londres	10
Illustration n° 2. Jean-François Millet, « Des glaneuses « dit aussi « Les glaneuses», (1857), Musée d'Orsay Paris	12
Illustration n° 3. Odilon Redon, «Cul-de-Lampe», (1890), National Gallery of Art, Washignton DC.	13
Illustration n° 4. Odilon Redon, «La Gue (The Ford)», (1865), National Gallery of Art, Washington DC	13
Illustration n° 5. Odilon Redon, «Figure under blossoming tree», (1904/1905), Van Gogh Museum, Amsterdam	14
Illustration n° 8. Odilon Redon, «Le chemin à Peyrelebade», (entre 1840 et 196), Musée d'Orsay, Paris	14
Illustration n° 6. Odilon Redon, «Le Jour», (1891), National Gallery of Art, Wanshington DC... ..	14
Illustration n° 9. Odilon Redon, «Muse on Pegasus», (1900), collection privée	14
Illustration n° 7. Odilon Redon, «Arbre et taillis», (1840-1916), Musée d'Orsay, conservé au musée du Louvre, Paris.	14
Illustration n° 10. Odilon Redon, «Couverture-Frontière de l'Album Les Origines», (date d'édition 1883), Bibliothèque nationale de France... ..	15
Illustration n° 11. Odilon Redon, «Il y eut peut-être une vision première essayée dans la fleur» extrait de: Les Origines, (date d'édition 1883), Bibliothèque nationale de France	15
Illustration n° 12. Paul Gauguin, «Les Alyscamps», (1888), Musée d'Orsay	16
Illustration n° 13. Maurice Denis, «Paysage aux arbres verts» ou « Les Hêtres de Kerduel », (1893), Musée d'Orsay, Paris	16
Illustration n° 14. Paul Sérusier, «Bretonnes, réunion dans le bois sacré», (1891-93), collection particulière Paris... ..	16
Illustration n° 15. Claude Monet, «Les Trois Arbres, été», (1891), The National Museum of Western Art, Tokyo.. ...	17

Illustration n° 16. Claude Monet, «Effet de vent, série des peupliers», (1891), Musée d'Orsay, Paris	17
Illustration n° 17. Claude Monet, «Les Peupliers, trois arbres roses, automne», (1891), Philadelphia Museum of Art, Philadelphie	17
Illustration n° 18. MLF, «In The Eyes of The Animal», (2015)	18
Illustration n° 19. Georges Seurat, «Paysage et personnages», (1884-85), collection particulière... ..	19
Illustration n° 20. Georges Seurat, «Paysage rose», (1879), Musée d'Orsay, Paris ...	19
Illustration n° 21. Isadora Teles de Castro, «Paysage de mémoire», (2013), image numérique	20
Illustration n° 23. Isadora Teles de Castro, «Paysage de mémoire», (2013), esquisse de maquette	20
Illustration n° 22. Isadora Teles de Castro, «Paysage de mémoire», (2013), images numériques.. ..	20
Illustration n° 24. Isadora Teles de Castro, «Paysage de mémoire», (2013), maquette	20
Illustration n° 25. Isadora Teles de Castro, «Paysage de mémoire», (2013), installation	21
Illustration n° 26. Isadora Teles de Castro, «L'Escalier et l'Île lointaine», (2015), scène de jeu vidéo... ..	22
Illustration n° 27. Isadora Teles de Castro, «L'Escalier et l'Île lointaine», (2015), scène de jeu vidéo... ..	22
Illustration n° 28. Dave Chenell, «EPOR», (2016)	25
Illustration n° 29. Golan Levin & Zachary Lieberman, «Footfalls», (2016).	25
Illustration n° 30. Golan Levin, «Interstitial fragment processor», (2007)	25
Illustration n° 31. John Whitney, «Matrix III», (1972).	26
Illustration n° 32. Oskar Fischinger, «Composition in blue», (1935)	26
Illustration n° 33. Oskar Fischinger, «Muratti greift», (1934)	26
Illustration n° 37. Joanie Lemercier, «EYJAFJALLAJÖKULL»? (2010)	27

- Illustration n° 34. László Moholy-Nagy, «AXL II», (1927), Guggenheim Museum, New York.27
- Illustration n° 35. László Moholy-Nagy, «Composition (Variant on A II)», (1924), The Hilla Von Rebay Foundation27
- Illustration n° 38. Joanie Lemercier and James Ginzburg, «Nimbes», (2014)27
- Illustration n° 36. László Moholy-Nagy, «Architecture (Eccentric Construction)», (1921), Guggenheim Museum, New York..27
- Illustration n° 39. Olivier Ratsi & AntiVJ, «Onion Skin», (2013)..27
- Illustration n° 42. Beeple, «Triometric», (2017), image du challenge de production d'une image par jour28
- Illustration n° 40. Rene Magritte, «The Battle of the Argonne», (1959)28
- Illustration n° 41. Rene Magritte, «Le domaine d'Arnheim», (1938)28
- Illustration n° 43. Beeple, «20 AMP», (2017), image du challenge de production d'une image par jour28
- Illustration n° 44. Isadora Teles en collaboration avec Monoburo, «Artefact», (2015), Gaité Lyrique... ..29
- Illustration n° 45. Isadora Teles en collaboration avec Monoburo, «Artefact», (2015), Gaité Lyrique... ..30
- Illustration n° 46. Isadora Teles en collaboration avec Monoburo, «Artefact», (2015), Gaité Lyrique... ..30
- Illustration n° 47. JoyDivision, album cover «UnknownPleasures», (1979)... ..30
- Illustration n° 48. Radiohead directed by James Frost, «House Of Cards», (2008) 31
- Illustration n° 49. Radiohead directed by James Frost, «House Of Cards», (2008) 31
- Illustration n° 52. Quayola, «Pleasant Places», (2015)... ..32
- Illustration n° 50. Isadora Teles de Castro, «Ode ao Banho», (2012), vidéo 3'32
- Illustration n° 51. Isadora Teles de Castro, «Ode ao Banho», (2012), vidéo 332
- Illustration n° 53. Quayola, «PP-3D-Scans», (2016).32
- Illustration n° 54. Ryochi Kurokawa, «Rheo 5 horizons», (2010)... ..33
- Illustration n° 56. Antoine Delach, «Ghost Cell», (2015)34

Illustration n° 55. MLF, «In the Eyes of the Animal», (2016)..	34
Illustration n° 57. Photographie en échelle «nano»...	34
Illustration n° 58. Lana Wachowski & Andy Wachowski, «Matrix», (1999) ...	35
Illustration n° 59. Isadora Teles de Castro, Test d'autoportrait scané, (2016). ...	36
Illustration n° 61. Isadora Teles de Castro, Test de doigt en point cloud, (2016) ...	36
Illustration n° 60. Isadora Teles de Castro, Test d'autoportrait scané, (2016) ...	36
Illustration n° 62. Abd al Malik, réalisé par Romain Cieutat, vidéo clip «Daniel Darc», (2016), extrait du refrain, images créées par Isadora Teles..	37
Illustration n° 63. Bob Ross, «Valley View (Season 21 Episode 1)», Youtube ...	38
Illustration n° 64. Patricio Gonzalez Vivo, métaphore du calcul en serie CPU, The Book of Shaders..	38
Illustration n° 65. Patricio Gonzalez Vivo, métaphore du calcul en parallèle sur GPU, The Book of Shaders...	38
Illustration n° 66. Inigo Quilez, «Mandelbrot - orbit traps», (2013), Shadertoy ...	39
Illustration n° 68. Xavier Benech, «Linescape (Retrorendering)», (2014), Shadertoy39	
Illustration n° 69. Inigo Quilez, «Grid of Cilinders», (2013), Shadertoy ...	39
Illustration n° 67. cornusammonis, «Suture Fluid», (2016), Shadertoy..	39
Illustration n° 70. Inigo Quilez, «Elevated», (2013), Shadertoy...	39
Illustration n° 71. David Hoe, «Generative Art Mining», (2014)...	41
Illustration n° 72. Contes Electroniques, tableau 1, (2016)...	42
Illustration n° 73. Contes Electroniques, tableau 2, (2016)...	42
Illustration n° 74. Contes Electroniques, tableau 3, (2016)...	42
Illustration n° 75. Joseph Chen, «Colosse», (2016), film en VR temps-réel...	44
Illustration n° 76. J. M. W. Turner, «The Lake of Zug», (1943), The Metropolitan Museum, New York...	44
Illustration n° 77. evilmrfrank (nom d'utilisateur sur youtube), «Unreal Engine 4 mountain environment - Foliage/Landscape test (Made in 2 days)», (2015), still image depuis Youtube ...	45

Illustration n° 79. Naughty Dog Studio, «Uncharted 4: A Thief's End», (2016), PlayStation 4	45
Illustration n° 78. Campagne publicitaire de Perrier, «Immersion Extraordinaire», (2016)	45
Illustration n° 80. Alexandre Gomez & Isadora Teles de Castro, «Parallelogrammes», (2016)	46
Illustration n° 81. Isadora Teles de Castro pour Superbien, «F», (2016)	47
Illustration n° 82. René Magritte, «Portrait de Stéphanie Langui», (1961),	48
Illustration n° 83. Teddy Newton, Pixar Animation Studios & Walt Disney Pictures, «Day & Night», (2010).	49
Illustration n° 84. Teddy Newton, Pixar Animation Studios & Walt Disney Pictures, «Day & Night», (2010).	49
Illustration n° 85. Gary Wiliam Flake, «The Computational Beauty of Nature», (1998)	51
Illustration n° 88. Christa Sommerer & Laurent Mignonneau, «Interactive Plant Growing», (1992)	53
Illustration n° 86. Christa Sommerer & Laurent Mignonneau, «Portrait on the Fly», (2015)	53
Illustration n° 87. Christa Sommerer & Laurent Mignonneau, «People on the Fly», (2016)	53
Illustration n° 89. Christa Sommerer & Laurent Mignonneau, «TransPlants», (1995)	53
Illustration n° 90. Christa Sommerer & Laurent Mignonneau, «Life Species II», (1999)	53
Illustration n° 91. Silky Way, (2015)..	55
Illustration n° 92. Silky Way, (2015).	55
Illustration n° 93. Karl Sims, «Genetic Images», (1993)... ..	57
Illustration n° 95. X. Tu and D. Terzopoulos, «Control and information flow in artificial fish»	57
Illustration n° 94. Jon McCormack, «Colourfield», (2009/2010), Evolutionary Software Ecosystem	57

- Illustration n° 96. Maciej Komosinski & Symon Ulatowski, «Framsticks» 57
- Illustration n° 97. Illustration de l'histoire de Zeuxis et Parrhasius Mural à la Galerie d'histoire de peinture ancienne, State Hermitage Museum, St Petersburg 60
- Illustration n° 98. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Distribution aléatoire, Random Walker (un agent).. 64
- Illustration n° 99. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Distribution aléatoire, Random Walker (un agent + manipulation de la caméra) 64
- Illustration n° 100. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Distribution aléatoire, Random Walker (50 agents + manipulation de la caméra)... .. 64
- Illustration n° 102. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Distribution normale ou distribution Laplacienne / Gaussienne, Gaussian Walker (2 agents 20% transparents) 65
- Illustration n° 101. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Probabilité et distribution uniforme, Random Walker. 65
- Illustration n° 103. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Distribution normale ou distribution Laplacienne / Gaussienne, Gaussian Walker (20 agents 20% transparents + manipulation de la caméra).. 65
- Illustration n° 105. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Distribution normale ou distribution Laplacienne / Gaussienne, Gaussian Walker (20 agents opaques + manipulation de la caméra). 66
- Illustration n° 104. Daniel Shiffman, démonstration de la courbe de Bell, ou courbe gaussienne, «The Nature of Code» 66
- Illustration n° 106. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Distribution Monte Carlo ou personnalisé, Monte Carlo Walker (agent noir: progression linéaire, agent rouge: progression géométrique) 67
- Illustration n° 107. Daniel Shiffman, comparaison entre le spectre de bruit et de valeurs aléatoires, «The Nature of Code» 68
- Illustration n° 109. Daniel Shiffman, relation entre valeurs adjacentes dans le bruit de Perlin, «The Nature of Code» 68
- Illustration n° 108. Disney, «Tron», (1982). 68
- Illustration n° 111. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Bruit de Perlin (Perlin Noise), Test avec un bruit en 1D (petite itération en X) 69
- Illustration n° 110. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Bruit de Perlin (Perlin Noise), Test avec un bruit en 2D 69

- Illustration n° 112. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Bruit de Perlin (Perlin Noise), Test avec un bruit en 1D (grande itération en X).69
- Illustration n° 113. Le Contrôle de l'aléatoire - Expérimentations - Bruit de Perlin (Perlin Noise), Test avec un bruit en 1D (grande itération en X).70
- Illustration n° 114. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Forces et simulation de phénomènes physiques issues de trois lois de Newton, Test de forces (friction + gravité + résistance liquide)72
- Illustration n° 115. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Forces et simulation de phénomènes physiques issues de trois lois de Newton, Test de forces (friction + gravité + résistance liquide + attraction gravitationnelle)72
- Illustration n° 116. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Forces et simulation de phénomènes physiques issues de trois lois de Newton, Test de forces (friction + gravité + attraction gravitationnelle)... ..72
- Illustration n° 117. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Forces et simulation de phénomènes physiques issues de trois lois de Newton, Test de dessin avec les forces interactives (friction + gravité + attraction gravitationnelle) ...72
- Illustration n° 119. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Forces et simulation de phénomènes physiques issues de trois lois de Newton, Pendules interactifs73
- Illustration n° 118. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Forces et simulation de phénomènes physiques issues de trois lois de Newton, Application du calcul de vitesse angulaire des agents (rotation selon la direction de la vitesse)... ..73
- Illustration n° 121. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Forces et simulation de phénomènes physiques issues de trois lois de Newton, Test interactif de la force d'élasticité.74
- Illustration n° 120. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Forces et simulation de phénomènes physiques issues de trois lois de Newton, Contrôle et manipulation d'une ondulation avec amplitude et période interactifs 74
- Illustration n° 122. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Forces et simulation de phénomènes physiques issues de trois lois de Newton, Test interactif du tracé de la force d'élasticité..74
- Illustration n° 123. William Reeves, Expérimentations avec les systèmes de particules pour créer de la végétation, Lucas Films..75
- Illustration n° 124. William Reeves, «Wall of fire about to engulf camera», Lucas Films.75

- Illustration n° 125. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Systèmes de particules avec forces, Systèmes de particules avec forces d'attraction et répulsion... ..76
- Illustration n° 126. Physique, trigonométrie et systèmes simples - Expérimentations - Systèmes de particules avec forces, Systèmes de particules avec forces d'attraction et répulsion... ..77
- Illustration n° 127. Philip Galanter, «Generative Art Systems», dans «What is generative art ?»78
- Illustration n° 130. Agents autonomes - Expérimentations - Les comportements de pilotage et de direction, Test : poursuivre et fuir80
- Illustration n° 128. Agents autonomes - Expérimentations - Les comportements de pilotage et de direction, Test : poursuivre et fuir80
- Illustration n° 129. Agents autonomes - Expérimentations - Les comportements de pilotage et de direction, Test : vaguer sur l'écran (angle contraint)..80
- Illustration n° 132. Agents autonomes - Expérimentations - Les comportements de pilotage et de direction, Test : suivre un chemin81
- Illustration n° 131. Daniel Shiffman, Calcul du target dans une circonférence, «The Nature of Code»81
- Illustration n° 133. Agents autonomes - Expérimentations - Les comportements de pilotage et de direction, Test : Flow Field82
- Illustration n° 134. Agents autonomes - Expérimentations - Les comportements de pilotage et de direction, Test : Flow Field82
- Illustration n° 135. Agents autonomes - Expérimentations - La modélisation de la complexité, Test de comportements de groupe: Separation + poursuivre la souris 83
- Illustration n° 136. Agents autonomes - Expérimentations - La modélisation de la complexité, Test de comportements de groupe: Separation + poursuivre un chemin84
- Illustration n° 137. Agents autonomes - Expérimentations - La modélisation de la complexité, Test de comportements de groupe: Floccage84
- Illustration n° 138. Fractales - Experimentations, Arbre fractale déterministe.86
- Illustration n° 140. Fractales - Experimentations, Arbres fractales stochastiques animés... ..86
- Illustration n° 139. Fractales - Experimentations, Arbre fractale déterministe86
- Illustration n° 141. L-Systèmes - Expérimentations, Arbre en L-Système animé87

- Illustration n° 142. L-Systemes - Expérimentations, Arbres avec des «fruits» en L-Systeme animé88
- Illustration n° 143. Anastacio et al., schéma de fonctionnement du SBIM , image de l'article « Modeling Plant Structures Using Concept Sketches»88
- Illustration n° 145. Géométrie fondée sur un dessin - Expérimentations, Tiges formées par les vecteurs des tangentes des vertices89
- Illustration n° 144. Géométrie fondée sur un dessin - Expérimentations, Tiges formées par les vecteurs des «normales» des vertices... ..89
- Illustration n° 146. Géométrie fondée sur un dessin - Expérimentations, Tiges formées par les vecteurs des «normales» et tangentes des vertices90
- Illustration n° 147. Cellular Automata - Expérimentations, Test de Game of Life avec suivi des états passés92
- Illustration n° 148. Cellular Automata - Expérimentations, Test de Game of Life avec trois espèces (règle 01)93
- Illustration n° 149. Cellular Automata - Expérimentations, Test de Game of Life avec trois espèces (règle 02)93
- Illustration n° 150. Algorithmes Génétiques - Expérimentations, Evolution d'une population de phrases vers une phrase spécifique... ..96
- Illustration n° 151. Algorithmes Génétiques - Expérimentations, Evolution d'agents autonomes vers un trajet optimisée vers un point cible.97
- Illustration n° 152. Algorithmes Génétiques - Expérimentations, Evolution d'agents autonomes vers un trajet optimisé vers un point cible avec obstacles..97
- Illustration n° 153. Algorithmes Génétiques - Expérimentations, Evolution de personnages avec sélection interactive (generation 01)..98
- Illustration n° 155. Algorithmes Génétiques - Expérimentations, Evolution de personnages avec sélection interactive (generation 03).98
- Illustration n° 157. Algorithmes Génétiques - Expérimentations, Evolution de personnages avec sélection interactive (generation 05).98
- Illustration n° 154. Algorithmes Génétiques - Expérimentations, Evolution de personnages avec sélection interactive (generation 02).98
- Illustration n° 156. Algorithmes Génétiques - Expérimentations, Evolution de personnages avec sélection interactive (generation 04).98

Illustration n° 158. Jean-François Millet, «L'Angelus», (1859), Musée d'Orsay, Paris	100
Illustration n° 159. Croquis d'analyse de la composition du paysage de la peinture «L'Angelus» de Jean-François Millet... ..	102
Illustration n° 160. Height Map d'après le modèle 3D du terrain	103
Illustration n° 161. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Image de test de placement de géométrie pour simuler une composition de paysage (méthode CPU)	104
Illustration n° 164. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Image de test de placement de géométrie pour simuler une composition de paysage (méthode GPU.	105
Illustration n° 165. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Image de test de placement de géométrie pour simuler une composition de paysage (méthode GPU.	105
Illustration n° 162. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Image de test de placement de géométrie pour simuler une composition de paysage (méthode GPU)	105
Illustration n° 163. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Image de test de placement de géométrie pour simuler une composition de paysage (méthode GPU)	105
Illustration n° 166. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Image de test de formes végétales dessinées avec des agents autonomes et L-Systèmes	107
Illustration n° 167. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, L'Herbe dessinée par des agents «vagabonds»	107
Illustration n° 168. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Plantes dessinées avec des agents autonomes et L-Systèmes	108
Illustration n° 169. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Arbres dessinées avec des agents autonomes et L-Systèmes	108
Illustration n° 170. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, L-Systèmes pour arbres du projet «Aliaj Angelus»	109
Illustration n° 171. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, L-Systèmes pour arbres du projet «Aliaj Angelus»	110
Illustration n° 172. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Visualisation d'une génération de populations de végétation et suivit des informations météorologiques.	113

- Illustration n° 173. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Possibilité 01 de CA pour placement map.114
- Illustration n° 174. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Possibilité 02 de CA pour placement map.114
- Illustration n° 175. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Visualisation du 'patch' de manipulation du système de Headtracking sur Touchdesigner.115
- Illustration n° 176. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Visualisation du 'patch' de manipulation du système de Headtracking sur Touchdesigner.115
- Illustration n° 177. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Installation mise en place, ATI - Paris 8116
- Illustration n° 178. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Image de l'animation de l'installation final en plusieurs moments différents de la journée, (moment 02).118
- Illustration n° 179. «Aliaj Angelus» : Paysage modifié par la météorologie, Image de l'animation de l'installation final en plusieurs moments différents de la journée, (moment 01)118
- Illustration n° 180. Autres expérimentations : Dessins et paysages émergents - Conversations et systèmes complexes..119
- Illustration n° 181. Autres expérimentations : Dessins et paysages émergents - Conversations et systèmes complexes..119
- Illustration n° 182. Autres expérimentations : Dessins et paysages émergents - Conversations et systèmes complexes.. 120
- Illustration n° 183. Autres expérimentations : Dessins et paysages émergents - Conversations et systèmes complexes.. 120

ANNEXES

Paysages picturaux

[1] Influencé par les travaux de **Darwin** et assisté par son ami le botaniste **Armand Clavaud**, **Odilon Redon** propose en 1883, une transcription fantasmagorique de la pensée darwinienne dans la série de lithographies intitulées « *les Origines* » (en allusion à l'*Origine des espèces*).

« Une ode visuelle dédiée à la Vie où apparaissent, issus de la ‘soupe primitive’ et bouillonnante de son imagination, des êtres hybrides et fantastique, des croisements d’espèces, des animaux réels ou mythiques¹ »

Edmond Couchot, L’Art Numérique

[2] Dans le film « *Melancholia* », du réalisateur danois **Lars Von Trier**, il y a quelques références à l’univers symboliste. Principalement celui de **Gustave Moreau**. Cela est interprété justement par le rapport de l’homme et la nature dans la narrative du film, de contexte apocalyptique à cause d’un grand désastre naturel éminent. Les compositions en paysage sont utilisés dans le film pour accentuer la petitesse de l’homme, de ses ambitions et de ses connaissances scientifiques face aux infinies possibilités du Cosmos et de sa complexité.

Paysages Virtuels

[3] **Demo scene** et images génératives :

L’idée de systèmes de règles et modélisation automatisée présente dans l’utilisation de modèles mathématiques dans l’art numérique renvoie aux techniques caractéristiques de l’art générative et des images procéduraux. Deux des champs d’application des images génératives sont la computation graphique pour l’animation et la « *Demo scene* » ou « *VJ Culture* »², domaines qui ont la préoccupation de développer des images générées de façon procédurale et en temps réel. Dans le premier domaine pour optimiser et raccourcir le temps de production de ses produits et le deuxième pour pouvoir profiter de la manipulation et génération d’images de façon réactive, contrôlée et spontanée. Ces deux domaines de recherche et de création d’images numériques sont aussi producteurs de paysages. Le premier pour son utilisation dans des films d’animation³, par le biais de simulations ou d’autres applications de la computation graphique. Le deuxième pour la scénographie en temps-réel des concerts, pour des installations et pour des spectacles.

La création de systèmes génératifs fait partie des techniques utilisées pour la création des paysages virtuels et ses concepts font partie des sujets dont une partie du paysage virtuel s’agit.

1 (Couchot & Hillaire, 2003)

2 (Galanter, 2003)

3 (Pertusi *et al.*, 2016)

Si le domaine de la computation graphique et de l'animation cherche une représentation réaliste de l'environnement, par exemple, les paysages virtuels issus de ces domaines expriment les préoccupations de la direction artistique de ces milieux, une volonté de représentation réaliste du paysage en lien avec la narrative du film. Les procédures génératives sont donc bien utilisés avec des fins expressifs vu qu'il existent très souvent des équipes ingénieurs graphiques pour trouver des solutions d'automatisation et optimisation des procédures pour rendre possible les instructions données par la direction artistique⁴.

La scène Demo et le *VJ culture*, en contraste avec le domaine de la recherche scientifiques en computation graphique, normalement profitent des développements techniques scientifiques vu que normalement cette pratique n'est pas liée à l'industrie et au milieu académique de la computation graphique directement mais au marché de l'art et du spectacle. L'esthétique des paysages virtuels de la *VJ Culture* est alors, d'une certaine façon et très souvent, dépendante des avancements techniques des recherches dans la computation graphique réalisés dans sa plupart par le domaine de la recherche et développement pour l'animation et pour des logiciels de création graphique.

[4] **Inigo Quilez** est le créateur du site *Shadertoy* et maintien dans son site une liste d'articles et tutoriels pédagogiques sur les bases de la programmation graphique et a participé de l'équipe de recherche et développement des studios Pixar, en créant, entre autres, les paysages et éléments de la végétation des films « *The Good Dinrossaur* », « *Brave* » et « *Lava* »⁵. Selon ses publications⁶, sa recherche se base sur le développement de solutions optimisées pour les artistes et le paysage, en toute sa complexité, est un de ses sujets d'intérêt.

[5] **Daniel Shiffman** participe de l'équipe de développement de l'outil Processing et P5.js. Il maintient une chaîne de vidéos sur youtube où il vulgarise, enseigne et discute des techniques de programmation en temps-réel. Son but est de motiver la création artistique numérique en rendant accessibles des algorithmes issues de principes développés par les sciences.

[6] Le *live-coding*⁷, aussi référée comme programmation conversationnelle, est une forme de performance et de technique créative centrée sur l'écrite de code-source et dans l'utilisation de la programmation interactive de manière improvisée. Typiquement, le processus d'écriture est montrée par la projection de l'écran de l'ordinateur pour une audience, comme un moyen de visualiser la constante recherche de composition de écriture du code qui génère des images ou

4 (Garcia *et al.*, 2015)

5 (Quilez, s. d.)

6 (Garcia *et al.*, 2015)

7 (« lvm/awesome-livecoding », s. d.)

du son en temps-réel⁸.

[7] L'apprentissage automatique ou le *Machine Learning* étudie des algorithmes de programmation d'ordinateurs pour les faire apprendre à réaliser des choses comme compléter une tâche, ou faire des préférences précises ou se comporter de manière intelligente. L'apprentissage est basée sur quelques types d'observation de données sous la forme d'exemples, expérience directe ou instructions. En général, l'apprentissage automatique s'agit de développer et appliquer des algorithmes de façon à instruire une machine à apprendre à réaliser une tâche mieux, dans le futur, basée sur des expériences passées⁹.

Paysages Émergents

[8] **Philip Galanter** est un artiste, chercheur et enseignant à l'Université du Texas, aux États-Unis. Il a été une des inspirations théoriques lors de cette recherche pour sa production académique au tour des sujets qui m'intéressent, comme l'art générative et la science de la complexité. L'intérêt porté sur son discours se doit aux relations et critiques faites par rapport à l'utilisation de concepts et méthodes scientifiques dans le cadre de la création artistique et de la construction d'une théorie de l'art.¹⁰

[9] La **computation évolutionnaire** ou « *Evolutionary Computing* » est le terme général pour plusieurs techniques informatiques basées, dans un certain degré, sur l'évolution de la vie biologique dans le monde naturel.¹¹

Éléments d'un paysage

[10] *Openframeworks* est un ensemble d'outils de programmation en C++ disponible en *open source*. La communauté d'utilisateurs et contributeurs de cette plate forme est vaste et très active. Le code est écrit pour être compatible avec plusieurs systèmes d'exploitation et logiciels, ce qui rend son utilisation utile dans le cas de la création de projets qui relient divers techniques, matériaux et outils différents. C'est une solution personnelle trouvée pour ne pas être limitée par un logiciel dans mes recherches et créations.

Formes et Systèmes vers la complexité

[11] '**L'Effet Papillon**' - Expression formulée par le mathématicien et météorologiste **Edward Norton Lorenz**, pionnier dans l'étude de la théorie du chaos. Cette expression veut dire, selon la théorie de **Lorenz**, qu'un battement d'ailes d'un papillon peut causer des changements dans les phénomènes météorologiques de l'autre coté du monde, tellement le système du climat est

8 (« Live coding », 2017)

9 (Schapire, 2008)

10 (Galanter, s. d.)

11 (Reynolds, s. d.)

non-linéaire et imprévisible à long terme.

[12] '*Feedback Loop*' - La notion, le concept et la technique de la **boucle de rétroaction** est un aspect dont j'ai pas encore pu expérimenter. C'est pourtant une thématique dont les esthétiques possibles m'intéressent pour la création d'un paysage et dont le comportement conséquent est important pour l'aspect adaptatif et évolutif de cette création.

[13] **Systèmes discrets** - Systèmes dont les états des variables changent dans des points spécifiques dans le temps ou dans l'espace. Exemple : Clients arrivent à 3:15, 3:20, 3:30, etc. En opposition à systèmes continus, où l'état des variables en continu. Exemple : La quantité du flux ou débit d'eau sur un barrage.

