



HAL
open science

Art et mathématiques : les suites mathématiques dans l'art contemporain

Denise Demaret

► **To cite this version:**

Denise Demaret. Art et mathématiques : les suites mathématiques dans l'art contemporain. Art et histoire de l'art. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 2022. Français. NNT : 2022PA01H300 . tel-04065220

HAL Id: tel-04065220

<https://theses.hal.science/tel-04065220>

Submitted on 11 Apr 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE PARIS I PANTHÉON SORBONNE
UFR 04 – Arts plastiques et sciences de l’art
Laboratoire de rattachement : Institut Acte

THÈSE

Pour l’obtention du titre de Docteur en Arts Plastiques
Présentée et soutenue publiquement
Le 18 janvier 2022 par

Denise DEMARET

Art et Mathématiques :
Les suites mathématiques dans l’art contemporain

Sous la direction de Mme Olga KISSELEVA

MCF HDR à l’Université Paris 1 Panthéon Sorbonne

Membres du Jury

Mr Alain Lioret, Professeur à l’Université Paris 8 (rapporteur)

Mr Alexei Grinbaum, Directeur de recherche, CEA (rapporteur)

Mr Yann Toma, Professeur à l’Université Paris 1 Panthéon Sorbonne

Mr Antoine Mandel, Professeur à l’Université Paris 1 Panthéon Sorbonne

Résumé

L'objectif de cette thèse est d'étudier la place des suites mathématiques dans l'Art Contemporain. Si la notion de séries dans l'art n'est pas récente, ce qui est très nouveau c'est l'appropriation du concept mathématique de série et de suite dans des œuvres artistiques. Nous pouvons distinguer deux types de processus, soit l'artiste utilise délibérément les suites mathématiques, en connaissance de cause, soit elles sont sous-jacentes et c'est le regard du mathématicien qui les fait surgir dans l'œuvre. Les artistes ont utilisé des suites variées, allant de simples suites arithmétiques ou géométriques à des suites particulières comme la suite de Fibonacci qui est certainement celle que l'on retrouve le plus fréquemment dans une œuvre d'art. Le recours à des suites particulières dans une œuvre signifie une démarche précise de l'artiste alors que pour d'autres types de suites, c'est en faisant une analyse plastique de l'œuvre que nous les découvrons, l'artiste lui-même n'ayant pas nécessairement vu le contexte mathématique de suite qui sous-tendait son œuvre.

Cet outil abstrait fournit à de nombreux artistes un support optimal leur permettant de définir un protocole de création très rigoureux. Des contraintes peuvent ainsi être définies de façon à laisser le moins de place possible à la subjectivité, la place de l'intuition est alors reléguée au profit d'une expérimentation, d'un protocole défini au préalable. Cette démarche plastique se retrouve le plus souvent dans l'Art Minimal, l'Art Conceptuel ou l'Abstraction géométrique. Lorsque les suites mathématiques sont présentes, elles constituent un formidable outil abstrait conceptuel pour les artistes.

Mots-clés

Séries – Suites mathématiques – suite de Fibonacci – Abstraction géométrique –
Art conceptuel – Art minimal – Protocole –

Remerciements

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à Madame Olga Kisseleva qui a accepté de diriger mes recherches et qui a su m'orienter vers ce thème des suites mathématiques dans cette problématique Art et Mathématiques.

Je remercie également les professeurs du Centre Saint Charles qui m'ont aidée à comprendre ce que je recherchais dans ma pratique plastique et tout particulièrement Agnès Foiret, Anne-Sarah Le Meur, Sandrine Morsillo, Karen O'Rourke, Michel Sicard, Yann Toma et Michel Vanpeene.

SOMMAIRE

(Table des matières détaillée en fin de volume)

INTRODUCTION	9
PREMIERE PARTIE :	
DE LA LISTE A LA SUITE MATHEMATIQUE	17
I. Listes, suites, séries	17
1) Listes dans le cas général.....	17
2) Liste, suites et séries en mathématiques	18
3) Les carrés magiques.....	22
4) Analyse combinatoire et dénombrement	24
5) Fini, dénombrable, infini	28
II. De l'art sériel à la suite mathématique	29
1) L'artiste et l'art sériel, qu'apporte la série à l'artiste ?.....	29
2) Quelle analogie peut-on faire entre l'art sériel et la présence de suites mathématiques dans des œuvres d'art ?.....	30
3) Mel Bochner et « l'attitude sérielle »	33
4) La sérialité dans la littérature.....	36
III. Suites et séries mathématiques dans l'art	37
1) Classement de quelques artistes selon le type de suites qu'ils ont utilisé	37
2) La place des suites mathématiques dans les mouvements artistiques proches des mathématiques	43
DEUXIEME PARTIE : ANALYSE PLASTIQUE	45
I. Analyse d'œuvres	45
1) Suites particulières.....	45
1. La suite de Fibonacci	46

2. La suite de Syracuse.....	90
3. Les suites de Dudley Langford	93
2) Suites arithmétiques et géométriques	96
3) Suites aléatoires	141
4) Autres suites de nombres	157
5) Suites et art fractal	200
6) Dénombrement et analyse combinatoire	203
7) Carrés magiques	224
TROISIÈME PARTIE : ENJEUX ET PERPECTIVES	235
I. Bilan de l’analyse plastique	235
II. Exposition et conférence	240
III. Création collective	241
IV. Transdisciplinarité Art et mathématiques, de la recherche mathématique à la création artistique	243
CONCLUSION	249
BIBLIOGRAPHIE	253
ICONOGRAPHIE	259
ANNEXES.....	269
TABLE DES MATIÈRES DÉTAILLÉE	325

INTRODUCTION

Si durant de nombreux siècles les sujets utilisés par les artistes sont clairement identifiables, thèmes religieux, portraits, scènes de genre, il en va tout autrement dans l'Art Contemporain. Au début du XXème siècle la mimésis est petit à petit abandonnée par les peintres qui glissent progressivement vers l'abstraction au travers des grands mouvements qui se succèdent comme l'Impressionnisme, le Cubisme, l'Expressionnisme abstrait, le Minimalisme ou encore l'Art Conceptuel. Non seulement les peintres se tournent vers l'abstraction mais les grands mouvements artistiques du XXème siècle ne sont plus exclusivement des mouvements de peinture. De nouvelles catégories d'artistes voient le jour, photographes, vidéastes, artistes numériques, performeurs, etc ...

1) Les mathématiques comme sujet artistique

L'une des grandes révolutions de l'art du XXème siècle est le choix des sujets qui servent les artistes dans l'expression de leurs idées, aucun domaine n'étant exclu. C'est ainsi que certains artistes ont convoqué les Mathématiques pour traduire leurs idées, mais cette fois elles ne sont plus utilisées comme un outil mais comme un sujet. Ce ne sont plus les mathématiques utilitaires qui ont aidé les artistes grâce, par exemple, à la perspective, il s'agit maintenant pour les artistes de se les approprier comme un champ sémantique qui leur sert à proposer leur vision du monde. Dans une œuvre où les mathématiques apparaissent, on peut dire que la place de l'intuition est reléguée au profit d'une expérimentation, d'un protocole, de contraintes définies au préalable, même si une grande place est faite à l'aléatoire, mais le hasard lui-même est régi par des lois mathématiques. Cette thématique Art et Mathématique s'inscrit dans la problématique plus large Art et Sciences.

2) Vers les suites mathématiques

L'Art Concret ou Construit a déplacé le champ des arts plastiques vers l'abstraction géométrique et a considérablement modifié le lien historique entre l'art et les

mathématiques. Ce projet de recherche a pour objet les nouvelles interactions qui se tissent entre ces deux disciplines au travers d'une branche très spécifique des mathématiques, les suites et les séries numériques qui ont inspiré plusieurs artistes contemporains. Dans la problématique Art et Mathématiques, nous étudierons donc le cas particulier des suites mathématiques dans l'art. Ce projet de thèse questionnera donc, tout particulièrement, les œuvres et les artistes qui utilisent les suites numériques dans leur démarche artistique.

3) De l'art sériel vers les suites mathématiques dans l'art

Nous étudierons les liens possibles entre l'art sériel et les séries mathématiques. L'art sériel est la recherche de la répétition chez les artistes. Comment s'est faite la transition entre l'art sériel et les suites mathématiques dans l'art ? Est-ce la même démarche ? La série en art ou l'art sériel est une problématique que l'on rencontre chez de nombreux artistes et qui a fait l'objet de plusieurs recherches. Dans quel type d'œuvre la série est-elle plus présente ? Dans l'art figuratif ou dans l'art abstrait ? Marie-José MONDZAIN-BAUDINET écrit :

« Lorsqu'on parle de série en art, on désigne soit un ensemble ordonné d'œuvres régies par un thème, support d'un problème plastique à résoudre, soit une multiplicité de figures plus ou moins équivalentes résultant d'un jeu combinatoire ou encore d'un traitement répétitif systématique »¹.

L'utilisation de séries en art n'est pas récente et correspond à l'exécution, par l'artiste, d'une série d'objets avec le plus souvent une problématique plastique liée aux notions de couleurs, formes ou matières. L'œuvre sérielle peut aussi avoir une fin plus conceptuelle lorsque la série devient exhaustive et utilise l'analyse combinatoire. On voit alors un glissement du champ sémantique de la notion de série en art ou d'œuvre sérielle vers les mathématiques et en particulier vers le concept de suite mathématique que certains artistes se sont approprié dans leurs œuvres. Les notions de limites,

¹ Marie-José MONDZAIN-BAUDINET, « SÉRIE, art », Encyclopaedia Universalis, <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/serie-art/>

d'infinitésimal ou d'incommensurable, peuvent alors être abordées, de même que la répétition et l'«épuisement» des possibles avec l'analyse combinatoire. Les suites numériques constituent alors un outil abstrait conceptuel très performant pour les artistes.

4) Comment les suites mathématiques s'imposent-elles comme une composante de l'art contemporain ?

Un des objectifs de cette recherche est de comprendre pourquoi certains artistes se sont emparés d'objets mathématiques comme les suites mathématiques en tant que sujets de leurs travaux. Nous verrons comment le concept de nombre a pu servir le propos artistique, nous verrons également comment cette appropriation s'est faite au cours de l'histoire de l'art. Les nombres ont d'abord joué un rôle mystique, voire religieux, puis conceptuel et enfin sociétal avec le nouveau rôle dévolu aux nombres dans le cadre, par exemple, de la cryptographie.

5) Choix du corpus et analyse plastique

Pour étudier la place de la notion de suite dans l'art contemporain, j'ai commencé mes recherches en faisant d'abord un état des lieux des œuvres et des artistes pouvant s'intégrer dans ce thème. Ce projet de recherche s'appuiera tout d'abord sur l'étude d'un corpus d'œuvres du Centre Beaubourg. Actuellement, le Centre possède les œuvres d'environ 6000 artistes parmi lesquels environ 190 ont un lien plus ou moins proche avec les mathématiques soit environ 3%. Parmi ces 190 artistes environ 28 d'entre eux ont utilisé les suites mathématiques dans leurs œuvres, soit approximativement seulement 4 artistes pour mille. Cette très faible proportion d'artistes ayant travaillé avec les suites mathématiques justifie que mon étude soit la plus exhaustive possible, d'autant plus que, à ma connaissance, aucune recherche n'a réellement été menée sur ce sujet. Cette thèse comporte donc l'étude plastique des œuvres d'une quarantaine d'artistes, j'ai, bien sûr, étendu mon étude à des artistes dont les œuvres ne font pas partie de la collection du centre Beaubourg. Ce nombre peut

paraître important mais il me semblait nécessaire et indispensable pour pouvoir ébaucher des questions et tenter d'y apporter des réponses.

Il a ensuite été nécessaire de faire des choix. J'ai peu parlé des fractales qui sont construites à partir de suites complexes (au sens mathématique du terme) ou de suites géométriques. Tout d'abord je ne souhaitais pas répéter le travail que j'avais fait dans mon mémoire de master 2, *Chaos et fractalité*, en 2011 (voir annexe D, page 281). D'autre part, je souhaitais me limiter aux œuvres où une suite était clairement identifiable mathématiquement. C'est pourquoi je n'ai pas cité les artistes du groupe des Fractalistes car leur démarche se rapproche davantage du concept de fractalité que de l'utilisation de fractales mathématiques. On peut ainsi comparer le travail de Mel Bochner sur le triangle de Sierpinski (pages 183 et 201) et le tableau « La géométrie des Enigmes » de Jean-Claude Meynard (page 298), qui était un des signataires du Manifeste des Fractalistes en 1997. Dans le premier cas on identifie clairement le triangle de Sierpinski qui est une fractale mathématique, alors que dans le second cas nous avons une référence à la notion de fractale. Mel Bochner a utilisé un objet mathématique pour en faire un objet plastique alors que Jean-Claude Meynard, comme la plupart des artistes du mouvement des Fractalistes, fait seulement allusion au concept de fractalité sans aucun support mathématique.

Il pourrait également être intéressant de voir si les suites mathématiques peuvent trouver une place dans l'Art numérique. Je n'ai pas évoqué d'artistes alliant ces deux aspects de la création mais il en existe qui ont déjà fait cette démarche. Les représentants de l'Art Génératif évoquent ces liens au travers de la programmation. Pour qu'une production numérique soit considérée comme une œuvre d'art, sa création doit inclure un processus basé sur un algorithme conçu par l'artiste. L'étude de la présence des suites mathématiques dans l'art numérique et l'art génératif, pourrait faire l'objet d'une recherche complémentaire plus approfondie. Dans ma pratique personnelle j'ai déjà commencé à travailler dans cette direction.

De même, il pourrait être intéressant de mettre en évidence les suites mathématiques que l'on trouve en musique, tout particulièrement dans la musique sérielle. Une

comparaison peut également être faite avec la littérature qui a parfois utilisé la notion de suite.

J'ai donc choisi de limiter mon étude aux Arts Plastiques, quels que soient la technique ou le médium utilisés. Un de mes critères de sélection d'une œuvre était la possibilité d'identifier clairement, d'un point de vue mathématique, la présence d'une suite mathématique. Une allusion lointaine à cette notion de suite ne m'a pas paru pertinente dans le cadre de cette étude.

Je me suis également posé la question de la différence entre l'illustration d'une théorie mathématique et l'utilisation d'un objet mathématique à des fins plastiques. Dans le domaine des fractales, si l'on prend l'exemple de l'ensemble de Mandelbrot, l'image que nous connaissons tous est une représentation graphique de l'ensemble des points c du plan complexe pour lesquels la suite de nombres complexes définie par récurrence par $z_0 = 0$ et $z_{n+1} = z_n^2 + c$ est bornée (voir fig. 70 page 295). L'image obtenue peut paraître esthétique en comparaison avec d'autres objets mathématiques, par exemple serions-nous aussi sensibles à la représentation graphique d'une fonction affine dans le plan ? Je pense qu'il est important de faire la distinction entre l'illustration d'un concept mathématique qui permet une visualisation de ce concept à des fins didactiques, et l'appropriation d'un objet mathématique à des fins plastiques. Dans le cas de l'illustration il me semble qu'il n'y a pas de geste créatif, ce qui m'a amenée à ne pas étudier certains travaux qui me paraissaient relever davantage de la représentation graphique d'un objet mathématique plutôt que d'une réelle création artistique. C'est le cas des nombreuses images fractales abondamment diffusées.

Il a ensuite été nécessaire de classer ces artistes. Plusieurs critères étaient possibles. Le critère retenu, qui paraissait le plus logique, est la nature mathématique des suites utilisées, qu'elles fassent partie des suites classiques ou bien soient des suites particulières comme la suite de Fibonacci, que même des non-initiés aux mathématiques connaissent. Tout d'abord, les artistes n'ont utilisé qu'un petit nombre de suites mathématiques, les plus connues et surtout, les plus faciles à manipuler avec un objectif plastique. L'outil plastique choisi par les artistes (peinture, sculpture,

installation) aurait pu être un critère de classement mais était peut-être moins rigoureux, j'ai donc choisi d'étudier ce critère plastique au sein de chaque catégorie mathématique car il différencie tous ces artistes, leur propos autour des suites s'avérant plus pertinent en fonction de la technique utilisée.

6) Mouvements artistiques

Nous verrons à quels Mouvements se rattachent les artistes liés à cette problématique : la Modernité, le Constructivisme, l'Art minimal, l'Art conceptuel ou encore le Postminimalisme, défini par Robert Rauschenberg (Eva Hesse, Richard Serra, ...), qui utilise des procédés comme le programme, l'aléatoire, le jeu, et qui s'éloigne un peu de la rigidité du minimalisme. L'abstraction géométrique est un support plastique visuel qui permet aux artistes de présenter leur représentation des suites mathématiques qui sous-tendent leurs œuvres.

7) Enjeux contemporains et perspectives

Une exposition de certaines de ces œuvres permettrait d'illustrer le propos de cette recherche. Le site de l'IHP a été approché en 2019 pour réaliser une telle exposition. Elle pourrait s'accompagner d'une conférence sur le sujet afin de mieux comprendre les raisons qui ont poussé ces artistes à utiliser ce support abstrait. Un numéro de la revue Plastik pourrait être consacré aux mathématiques et traiter des enjeux contemporains des recherches conjointes entre artistes et mathématiciens. L'enjeu de cette recherche est de théoriser les liens innovants qui se tissent entre la recherche mathématique et la création artistique autour de la théorie des suites numériques et tout particulièrement dans le domaine des grandes conjectures non encore démontrées. Ce projet questionnera donc, tout particulièrement, les œuvres et les artistes qui utilisent les suites numériques dans leur démarche artistique et permettra de mieux comprendre les raisons qui ont poussé ces artistes à utiliser ce support abstrait. Un choix pertinent d'artistes et d'œuvres permettra d'appeler le public à réfléchir sur ces questions.

La recherche mathématique sort progressivement de l'obscurité des laboratoires, en témoigne l'importante médiatisation de la médaille Fields attribuée au mathématicien français Cédric Villani en 2010 pour ses travaux en théorie cinétique de l'équation de Boltzmann, qui ont des répercussions dans les modèles de mécanique classique en astrophysique. La fin du XXème siècle a vu d'autres avancées significatives comme la théorie mathématique des ondelettes qui a permis de développer le format d'image JPEG 2000 et de faire des progrès dans le domaine de l'image numérique, dans la compression et la transmission de ces images, ce qui a définitivement modifié notre environnement visuel.

Malgré quelques exemples mis en lumière, les découvertes mathématiques restent très méconnues et leur impact sur la société est le plus souvent ignoré. Certains sujets mathématiques, comme la conjecture de Syracuse, dont l'énoncé est compréhensible par un collégien, font encore l'objet de recherches et il est encore difficile de savoir si leur démonstration aura un impact sociétal.

C'est également la course vers la découverte de nouveaux nombres premiers, toujours plus grands, afin de pouvoir protéger nos codes secrets avant que les progrès faits par les ordinateurs ne permettent de décrypter rapidement les clefs qui protègent les cartes S.I.M. de nos téléphones portables ou les codes de nos cartes bancaires. Quel regard avoir sur ces recherches abstraites mais dont le progrès technologique se nourrit ? Que proposent les artistes à propos de ces conjectures qui laissent le monde mathématique en haleine ?

Les artistes ont souvent utilisé des notions mathématiques très élémentaires, le plus souvent géométriques, mais ces approches sont restées très timides et n'ont jamais réellement pénétré l'univers de la recherche mathématique. Il s'agissait bien souvent pour ces artistes d'utiliser l'outil mathématique pour exprimer leur vision du monde, tout en restant à distance raisonnable de cette science dont ils n'ont pas les clés. Inversement, une nouvelle tendance se dessine, des mathématiciens cherchent à se tourner vers une expression artistique, une association européenne a été créée afin de les réunir dans une même démarche, mais parfois, les productions plastiques restent trop proches d'une simple illustration de théories mathématiques. On peut se poser la

question fondamentale de savoir si les démarches respectives du mathématicien qui se tourne vers l'art, et de l'artiste qui utilise les mathématiques, sont dans le même champ sémantique et si l'on a affaire à des parcours parallèles ou convergents, voire divergents.

On peut aussi se poser la question du rôle des symboles et tout particulièrement de la symbolique des nombres dans le travail artistique.

Nous aimerions donc proposer ici une réflexion sur les expériences de recherches conjointes entre artistes et mathématiciens et tout particulièrement dans le domaine des grandes conjectures non démontrées, comme Syracuse ou Goldbach, qui touchent au domaine des suites numériques. Il nous semble essentiel de nous interroger sur la possibilité de confronter les méthodes de recherches des mathématiciens et des artistes. Il nous paraît également important de questionner le rôle de « sentinelle » que les artistes peuvent et doivent jouer auprès des chercheurs scientifiques, rôle de témoin, mais aussi acteur incontournable comme lien entre un sujet mathématique, une œuvre plastique et le spectateur.

PREMIERE PARTIE :

DE LA LISTE A LA SUITE MATHEMATIQUE

I. Listes, suites, séries

1) Listes dans le cas général

Une liste est une suite de mots, de noms, de signes, de symboles, de chiffres, de nombres ou encore de personnes ou d'objets, on parle aussi d'énumération ou de succession. Dans une liste il peut y avoir des répétitions ou non, si l'on énumère les notes obtenues par les élèves d'une classe, certains peuvent avoir obtenu la même note.

Selon sa fonction une liste peut être ordonnée ou non. Par exemple, une liste d'attente est ordonnée, c'est l'ordre d'inscription. Une liste d'instructions peut être ordonnée en fonction de l'objectif à atteindre. Les listes alphabétiques, ou chronologiques sont des listes ordonnées.

A l'occasion d'une manifestation au musée du Louvre sur le thème de la liste, Umberto Eco a écrit un ouvrage intitulé « Vertige de la liste » où il répertorie les différentes listes et répétitions que l'on peut trouver en art. Il y parle d'énumération visuelle, d'énumération chaotique, de définition par liste de propriétés. Dans son dernier chapitre « une liste non-normale », il évoque la liste d'animaux de Borgès et évoque le fait que « [...] elle inclut, parmi les ensembles qu'elle classifie, même ceux qui sont compris dans la classification ». En faisant cette remarque il soulève un grand problème de logique, celui de l'appartenance d'un ensemble à lui-même. Il écrit :

« Le lecteur expert en logique des ensembles éprouve le vertige qu'avait en son temps ressenti Frege² face à l'objection du jeune Russel³. »⁴

L'étude d'Umberto Eco montre que la notion de liste a été présente dans les œuvres de nombreux artistes, il en répertorie un grand nombre, dans l'art visuel comme dans la littérature, de l'Antiquité à l'Art Contemporain. Il montre ainsi le besoin d'énumération

² Gottlob Frege, 1848-1925, mathématicien, logicien et philosophe allemand, créateur de la logique moderne.

³ Bertrand Russell, 1872-1970, mathématicien, logicien et philosophe britannique.

⁴ Umberto Eco, *Vertige de la liste*, Flammarion, 2009, p.395.

chez un certain nombre d'artistes, la capacité d'organiser ces énumérations. Il semble qu'il y ait une sorte d'obsession et de besoin, d'énumérer, de dupliquer, ce que l'on peut retrouver dans l'art sériel et dans la présence de suites mathématiques dans certaines œuvres.

Dans sa *Théorie de l'Art Moderne*, Guillaume Désanges écrit à propos de Dan Graham :

*« Une obsession du rangement et du classement que l'on retrouve chez Graham : des nomenclatures de médicaments aux listes combinatoires de chiffres et de lettres qui rappellent étrangement la Gematria, interprétation en chiffres de lettres et de phrases, l'une des pratiques essentielles de la Kabbale ».*⁵

2) Liste, suites et séries en mathématiques

Ces remarques générales sur les listes et les énumérations nous amènent naturellement à la notion de suite mathématique. Demandons-nous d'abord si les suites mathématiques ont été découvertes ou créées par le mathématicien ? Cette question se pose d'ailleurs pour tous les objets mathématiques. Un carré, par exemple, est-il un objet existant avant que le mathématicien ne le définisse ? Ou bien est-ce un concept défini par le mathématicien ? La réponse à cette question divise la communauté mathématique et n'est pas l'objet de cette recherche. Nous considérerons ici que lorsqu'une définition est donnée, elle consacre l'existence de l'objet mathématique, que cette définition s'applique à un objet pré-existant ou à un objet défini par le mathématicien. Les nombres sont des concepts, le fait de les définir consacre leur existence. Une fois leur existence avérée, le mathématicien étudie leurs propriétés, puis les démontre, en utilisant un système logique constitué d'axiomes, de propositions, qui permettent d'établir une « vérité », au sens mathématique. Cette vérité n'est valable que dans un système axiomatique codifié par les mathématiciens et qui recueille l'adhésion d'une majorité grâce à sa cohérence et à l'évidence des axiomes posés. Néanmoins, cette axiomatique cartésienne a été remise en question à plusieurs

⁵ Guillaume Désanges, *Théorie de l'art moderne / Théorème de l'art maudit*, MAC/VAL, Le Comptoir des Indépendants, 2010, p.30.

reprises et a permis de construire, par exemple, des géométries non euclidiennes, comme la géométrie hyperbolique, où les axiomes de base sont différents.

Dans notre recherche, nous nous contenterons d'utiliser des mathématiques dites « euclidiennes ». Nous ne reviendrons pas sur l'existence des nombres et nous considérerons que nous sommes dans un système logique où l'existence du concept de nombre est un axiome. Le mathématicien Giuseppe Peano⁶ a proposé une construction axiomatique des nombres entiers à partir de la théorie des ensembles.

1. Listes

En mathématiques une liste de n éléments ordonnés notés x_1, x_2, \dots, x_n est appelée n -uplet et se note (x_1, x_2, \dots, x_n) . Une liste ordonnée de deux éléments est appelée « couple », par exemple $(2, 3)$ est un couple qui est différent du couple $(3, 2)$. Pour trois éléments, on parle de triplets, ensuite de quadruplets, etc ... On peut noter que l'ensemble $\{2, 3\}$, qui est aussi appelé paire, est une liste non ordonnée des nombres 2 et 3, ces deux nombres sont énumérés mais pas ordonnés. Cette notion de liste en mathématiques nous amène tout naturellement à celle de suite mathématique.

2. Suites mathématiques

Une suite mathématique ou logique est une liste d'éléments, appelés « termes », indexés par les entiers naturels et respectant le plus souvent une loi définie par une formule. Les termes de la suite sont habituellement notés u_1, u_2 , etc ... et la suite est notée (u_n) , n étant un entier naturel.

Une suite numérique (u_n) , est une suite mathématique dont les termes sont des nombres. Une telle suite peut être définie par une formule ou par une relation de récurrence, c'est-à-dire une relation entre un terme et le ou des termes précédents. Par exemple la suite des carrés de nombres entiers est définie par la formule $u_{n+1} = n^2$, c'est une suite définie par une formule. La suite de Fibonacci dont les deux premiers termes sont $u_1 = 1$ et $u_2 = 1$, est définie par la relation de récurrence $u_{n+2} = u_{n+1} + u_n$, ce que l'on peut traduire par « un terme de la suite est égal à la somme des deux termes qui le précèdent ».

⁶ Giuseppe Peano, 1858-1932, mathématicien et linguiste italien.

À côté des suites définies par une formule ou par récurrence nous trouvons les suites dites « aléatoires ». Leur construction n'utilise aucune formule. Leur modèle est illustré par les lancers successifs d'un dé non truqué, ou bien le lancer d'une pièce de monnaie, les termes successifs de la suite étant donnés par une succession aléatoire de « Pile » ou « Face », qui peuvent être remplacés par une suite de 0 et de 1. La caractéristique de cette suite aléatoire est qu'il y a équiprobabilité des deux événements « obtenir 0 » et « obtenir 1 », c'est-à-dire que sur un très grand nombre de termes de la suite cette probabilité tend vers $\frac{1}{2}$. Un autre modèle, souvent utilisé en mathématiques est le lancer d'un dé à six faces, la probabilité d'obtenir le chiffre 3 étant égale à un $\frac{1}{6}$. Le hasard répond donc à des règles mathématiques rigoureuses. Nous verrons plus loin que c'est cette organisation du hasard qui a fasciné des artistes comme Gerhard Hotter ou François Morellet.

Après avoir évoqué les suites mathématiques il nous faut parler des séries mathématiques. Etant donné une suite de terme général u_n la suite (S_n) des « sommes partielles » est définie par $S_n = u_0 + u_1 + u_2 + \dots + u_n$, on dit que cette suite est la série associée à la suite (u_n) . Cette notion permet de calculer rapidement la somme des n premiers entiers naturels en utilisant la formule qui donne la valeur de S_n pour une suite arithmétique. Remarquons d'ailleurs que nous n'avons pas trouvé de référence à la notion de série mathématique dans notre étude, nous n'avons trouvé aucun artiste l'ayant utilisée.

Nous allons maintenant évoquer quelques suites numériques particulières. Il n'est pas question ici de donner une liste exhaustive de définitions de suites particulières, ceci ferait l'objet d'un cours de mathématiques consacré aux suites numériques. Les suites que nous évoquerons ici se retrouvent dans des œuvres d'art que nous étudierons plus loin.

a. Suites arithmétiques

Une suite numérique est dite arithmétique si n'importe quel terme est obtenu en ajoutant une constante donnée au terme précédent. Cette constante est appelée

raison de la suite. Par exemple la suite des nombres entiers, dont le premier terme est 0, est une suite arithmétique de raison 1. Lorsque la raison est égale à zéro on obtient une suite constante, tous ses termes sont alors égaux au premier terme. Cette notion de suite constante a été souvent utilisée par plusieurs artistes, en effet l'idée de répéter des éléments identiques à eux-mêmes revient souvent, par exemple les bandes parallèles de largeur fixe chez Daniel Buren.

b. Suites géométriques

Une suite est dite géométrique si n'importe quel terme est obtenu en multipliant le terme précédent par un nombre constant donné, que l'on appelle raison de la suite.

c. Suites périodiques

Dans une suite périodique une succession de termes se répète indéfiniment. Une telle suite peut être construite en énumérant les décimales d'un nombre obtenu en divisant un nombre entier par un autre nombre entier, par exemple $29/7 = 4,1428571428571 \dots$ où les chiffres 142857 se répètent indéfiniment, dans ce cas on dit que la suite est périodique de période 6. A contrario, lorsqu'une suite n'est pas périodique aucune régularité n'apparaît, par exemple la suite des décimales du nombre π n'est pas périodique. Cette dernière suite a inspiré plusieurs artistes comme François Morellet.

d. Suite de Fibonacci

La suite de Fibonacci est une suite d'entiers dans laquelle chaque terme est la somme des deux termes qui le précèdent. Elle commence généralement par les termes 1 et 1 (parfois 0 et 1) et ses premiers termes sont : 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, etc, ... Elle doit son nom à Leonardo Fibonacci⁷, un mathématicien italien du XIII^e siècle qui, dans un problème récréatif posé dans un de ses ouvrages, le *Liber Abaci*, publié en 1202, décrit la croissance d'une population de lapins. Cette suite, dont la construction est très simple, possède de nombreuses

⁷ Leonardo Pisano, *Leonard de Pise*, plus connu sous le nom de Leonardo Fibonacci, 1170 – 1245, mathématicien né à Pise.

propriétés mathématiques, l'une des plus emblématiques étant que le rapport de deux termes consécutifs tend vers le nombre d'or lorsque l'indice n tend vers l'infini, c'est-à-dire lorsque les termes de la suite deviennent de plus en plus grands. Comme nous le verrons plus loin cette suite a inspiré de nombreux artistes sous des formes différentes, de Mario Merz à Donald Judd.

e. Suite de Syracuse

La suite de Syracuse est une suite d'entiers dont le premier terme est un entier positif quelconque et qui est construite de la façon suivante : si un terme est un nombre entier pair on le divise par deux pour obtenir le terme suivant, si un terme est impair on le multiplie par 3 puis on ajoute 1. On constate que, quel que soit l'entier choisi pour le premier terme, au bout d'un moment on obtient toujours un terme égal à 1 et ensuite la suite 1, 4, 2 se répète indéfiniment.

Exemple : si le premier terme est égal à 12 on obtient la suite des nombres :

12, 6, 3, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, 4, 2, 1, ...

Ce résultat n'a pas encore été démontré mais seulement observé sur un très grand nombre de suites construites sur ce modèle, c'est ce que l'on appelle la conjecture de Syracuse, du nom de l'université américaine de Syracuse où plusieurs mathématiciens s'attelèrent à des recherches sur cette suite dans les années 1950. On l'appelle aussi conjecture de Collatz⁸, du nom du mathématicien qui la mit en évidence en 1937. Récemment, le mathématicien Terence Tao⁹, a fait progresser la résolution de cette conjecture en s'appuyant sur des procédés probabilistes.

L'artiste Olga Kisseleva a travaillé sur la suite de Syracuse comme nous le verrons plus loin.

3) Les carrés magiques

Posons-nous maintenant la question de la place des carrés magiques dans cette étude.

Tout d'abord rappelons qu'un carré magique d'ordre n est un tableau de n^2 nombres

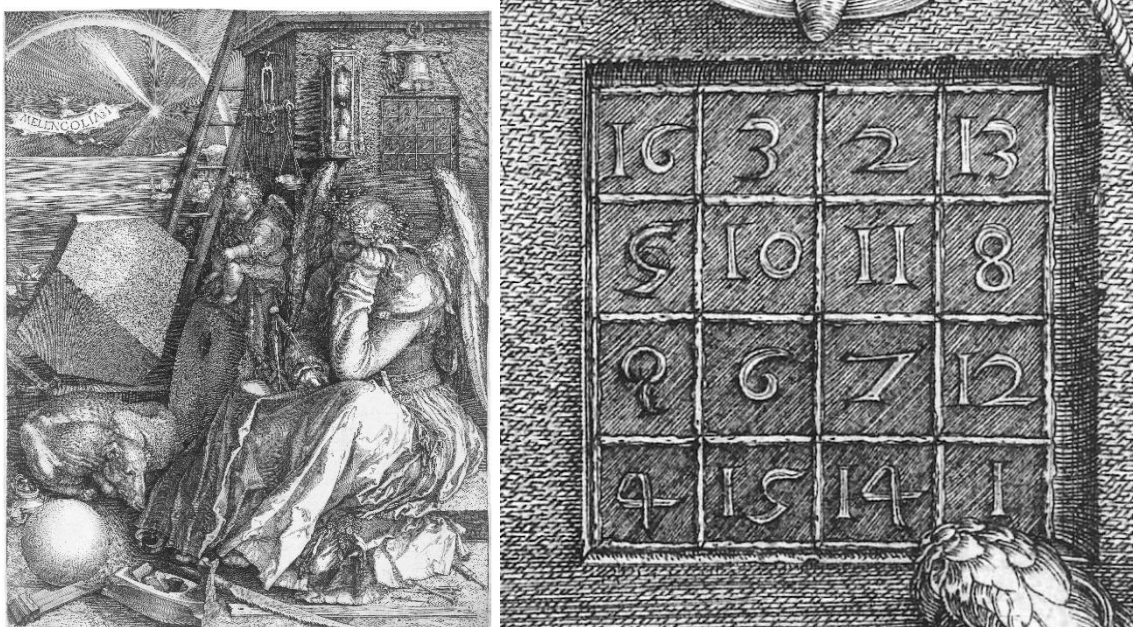
⁸ Lothar Collatz, 1910 - 1990, mathématicien allemand.

⁹ Terence Tao, (1975 -), mathématicien médaillé Fields en 2006.

entiers écrits dans un tableau carré de telle sorte que leurs sommes sur chaque ligne, chaque colonne et chaque diagonale soient égales.

Les carrés magiques ne sont pas considérés comme des suites au sens propre de la définition que nous venons de donner, mais il est possible d'utiliser une suite arithmétique pour construire certains de ces carrés, par exemple dans un carré magique d'ordre 3, on peut utiliser n'importe quelle suite arithmétique, il suffit, par exemple de choisir les 9 premiers nombres entiers consécutifs. Il est intéressant de noter que le nombre du milieu est toujours égal à la moyenne des 9 nombres du carré. Quant à la somme calculée sur les lignes, les colonnes et les diagonales, elle est égale au tiers de la somme de tous les nombres (parce qu'on a un carré d'ordre 3).

Le carré magique a inspiré plusieurs artistes, on en retrouve un dans la gravure *Melancholia* d'Albrecht Dürer, mais aussi dans l'œuvre contemporaine du peintre Albert Ayme qui a consacré une grande partie de son travail aux carrés magiques, et plus particulièrement aux carrés latins qui sont un cas particulier de carrés magiques, comme nous le verrons plus loin.



Albrecht Dürer, *Melancholia I*, 1514, Gravure sur cuivre,

16	3	2	13
5	10	11	8
9	6	7	12
4	15	14	1

Dans le carré de Dürer, qui est un carré magique d'ordre 4, on retrouve les 16 premiers entiers naturels positifs qui constituent une suite arithmétique. La somme magique de ce carré est égale à 34, on la retrouve en faisant la somme des nombres sur chaque ligne, chaque colonne et chaque diagonale. Ce carré présente d'autres propriétés, si l'on prend un couple quelconque de deux nombres et leurs symétriques par rapport au

centre du carré on obtient toujours une somme de 34 et, en partageant le carré principal en quatre carrés, on obtient 34 dans chacun des carrés obtenus ainsi que dans le carré central. La somme de deux nombres symétriques par rapport au centre est égale à 17, soit la moitié de 34. Enfin, au centre de la quatrième ligne on trouve les nombres 15 et 14, allusion à 1514 date de la création de l'œuvre.

Cette gravure est emplie de symboles et l'ajout de ce carré magique par Dürer montre sa prédilection pour les objets mathématiques, on reconnaît également dans cette gravure une sphère ou bien un bloc de pierre taillé en forme de polyèdre

4) Analyse combinatoire et dénombrement

L'analyse combinatoire regroupe l'ensemble des techniques qui servent, en mathématiques, à *compter* (ou *dénombrer*) les éléments d'ensembles finis, ou à les *énumérer*, c'est-à-dire à établir des listes exhaustives de ces éléments.

La notion d'analyse combinatoire est liée au concept de suite puisqu'il s'agit de dénombrer des objets d'un ensemble fini, de façon exhaustive ou encore toutes les possibilités de survenue d'un événement. L'énumération de ces occurrences nous ramène au domaine des suites finies c'est-à-dire ayant un nombre fini de termes que l'on peut dénombrer. En effet, nous pouvons considérer que la représentation d'une telle énumération dans une œuvre a figé ces objets dans un ordre donné et que nous sommes en présence d'une suite ordonnée mathématique.

L'utilisation de cette notion en art, peut permettre de faire un travail sériel, aléatoire ou non. Nous retrouvons l'analyse combinatoire chez de nombreux artistes qui utilisent le

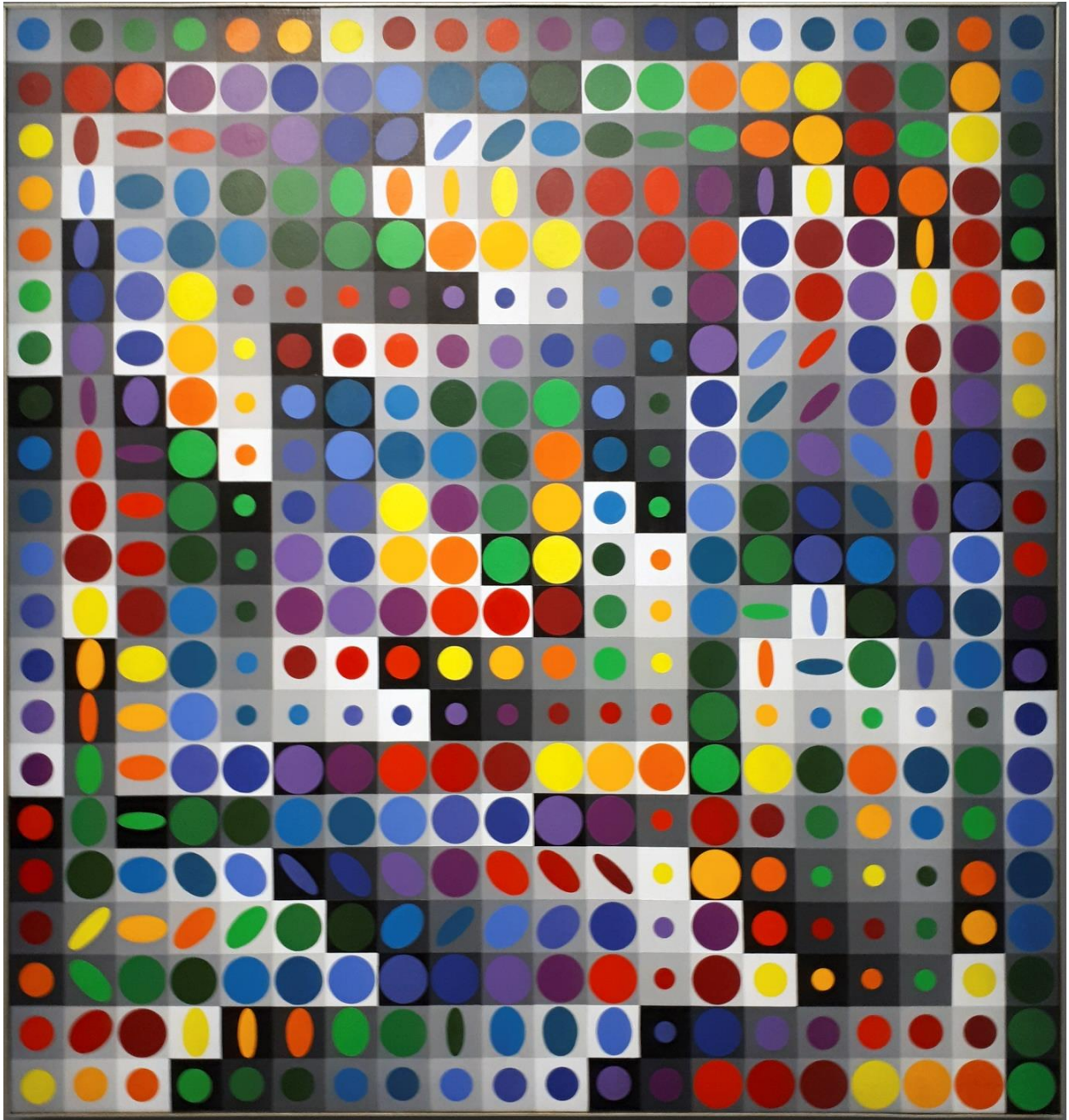
dénombrement pour créer des œuvres où le sujet est l'épuisement des possibles. Nous retrouvons cette problématique chez Sol LeWitt, François Morellet ou encore Gerhard Hotter.

Victor Vasarély a ainsi créé un « alphabet plastique » à partir d'un module pictural de base, formé d'un carré contenant un motif avec des couleurs et des formes différentes. En utilisant les combinaisons de ces différents motifs il obtient un très grand nombre de possibilités. En présentant son alphabet en 1963 il dit :

Avec un alphabet de seulement 30 formes-couleurs, rien qu'au niveau de l'unité plastique prise pour elle seule, je possède déjà plusieurs milliers de combinaisons virtuelles par permutations simple des duos : carré bleu-rond rouge, vert, orangé, violet ; carré bleu-triangle rouge, vert, orangé, etc. selon le nombre d'unités qui entrent dans la composition, 25, 100, 400, 625, etc., par suite de permutations plus complexes et du fait de l'emploi d'unités dont les dimensions sont progressivement croissantes, j'arrive à un nombre de possibilités pratiquement infini.¹⁰

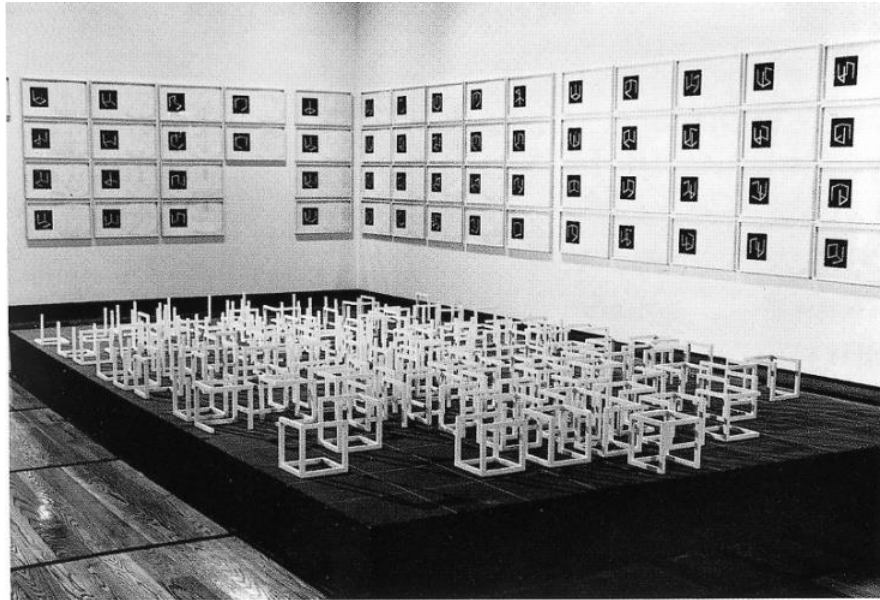
L'allusion au très grand nombre d'occurrences de son alphabet plastique, montre que Victor Vasarély s'appuie sur la notion de dénombrement mais ne recherche pas à créer des œuvres basées sur « l'épuisement » des possibles comme ont pu le faire d'autres artistes. Dans son œuvre *Orion MC*, il présente un nombre fini d'occurrences qui est très éloigné du nombre total de possibilités.

¹⁰ Victor Vasarély, in *Entretiens avec Victor Vasarély*, Jean-Louis Ferrier, Paris, éd. Pierre Belfond, 1969, p.66.



Victor Vasarely, *Orion MC*, 1964, acrylique sur toile, 84 × 80 cm.

Cette notion de combinatoire sous-tend également le travail de Sol LeWitt, en particulier lorsqu'il fait sa série de cubes incomplets, toutes les combinaisons possibles du nombre d'arêtes représentées étant utilisées.



Sol LeWitt, *Serial Project N°1*, 1966

En littérature, dans sa pièce de théâtre *Quad*, Samuel Beckett utilise le principe de l'analyse combinatoire lorsqu'il fait parcourir à ses personnages tous les parcours possibles à l'intérieur d'un carré.

5) Fini, dénombrable, infini

Lorsque l'on travaille avec les suites mathématiques, les notions de fini ou d'infini surgissent très rapidement. Une suite peut avoir un nombre fini ou un nombre infini de termes. Pour les suites qui ont un nombre infini de termes se pose la question du comportement de la suite lorsque l'indice n augmente, en d'autres termes que se passe-t-il quand n tend vers l'infini. Plusieurs situations se présentent, soit la suite (u_n) tend vers l'infini, c'est-à-dire que ses termes augmentent indéfiniment et deviennent infiniment grands, soit ils diminuent continuellement et se rapprochent de zéro. Ils peuvent aussi se rapprocher d'une valeur quelconque finie. Dans tous ces cas on dit que la suite admet une limite, soit l'infini noté ∞ , soit 0, soit une limite l . Il arrive aussi qu'une suite n'ait pas de limite et que ses termes soient périodiques, ou oscillent entre deux valeurs. Nous ne nous étendrons pas davantage sur l'étude des limites de suites, nous mentionnerons seulement ce point lorsqu'il apparaîtra dans l'étude d'une œuvre. Par exemple Olga Kisseleva a travaillé sur la suite de Syracuse qui semble avoir toujours pour limite 1, quel que soit son premier terme, résultat non encore démontré actuellement.

II. De l'art sériel à la suite mathématique

L'art sériel peut se définir, soit comme des répétitions dans une œuvre, soit comme une répétition d'œuvres.

1) L'artiste et l'art sériel, qu'apporte la série à l'artiste ?

Dans l'art figuratif, l'art sériel peut être considéré comme une tentative d'«épuiser» différentes vues d'un même sujet. Dans un article sur la notion de série dans l'art, Marie-José Mondzain-Baudinet¹¹ dit :

Lorsqu'on parle de série en art, on désigne soit un ensemble ordonné d'œuvres régies par un thème, support d'un problème plastique à résoudre, soit une multiplicité de figures plus ou moins équivalentes résultant d'un jeu combinatoire ou encore d'un traitement répétitif systématique.¹²

L'œuvre de Monet illustre parfaitement la première hypothèse de Marie-José Mondzain-Baudinet, en particulier dans sa série des cathédrales. Il représente la cathédrale de Rouen sous un angle donné et la peint avec des éclairages différents. On identifie cinq séries, tout d'abord deux vues de la cour d'Albane peintes en 1892, puis deux vues du portail vu de face en 1892, neuf vues en perspective également en 1892, onze vues depuis la boutique Levy en 1892-1893 et enfin six vues du portail et de la tour Saint Romain, en perspective depuis un autre magasin, soit au total trente toiles représentant le même sujet. Dans chaque série le point de vue est le même, Monet fait seulement varier la lumière en fonction de l'heure ou de l'ensoleillement de son sujet. Le marchand d'art Daniel Wildenstein¹³ fait un classement numéroté de cette série de toiles. Monet avait déjà travaillé plusieurs fois sur ce processus de répétition, en particulier avec sa série des meules entre 1883 et 1891, là encore c'était le même motif récurrent qui revenait sur chaque toile.

¹¹ Marie-José Mondzain-Baudinet, philosophe, est attachée de recherche au CNRS.

¹² Marie-José MONDZAIN-BAUDINET, « SÉRIE, art », Encyclopaedia Universalis, <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/serie-art/>

¹³ Daniel Wildenstein (1917-2001), marchand d'art et historien de l'art.

On peut se poser la question de la volonté de l'artiste, il semble néanmoins évident que cette déclinaison de peintures satisfait au besoin de répondre à un problème plastique, identifié ou non par l'artiste. On peut concevoir qu'il s'agit d'une succession d'essais qui permettent d'affirmer une technique, de faire une recherche sur la lumière.

Est-ce un besoin de tenter d'approcher la « perfection », y-a-t-il la notion de tendre vers quelque chose, ce qui pourrait rejoindre la notion de limite dans une suite mathématique. Vers quoi tend la série artistique ? Est-ce une progression, une recherche d'aboutissement ? Dans l'utilisation de la série, dans la répétition de motifs on peut voir aussi le besoin de saturer l'espace comme, par exemple, chez Andy Warhol avec ses « *Flowers* ».

Comment se conçoit une série ? Selon le médium utilisé, l'objectif peut être différent. En peinture figurative il s'agit essentiellement, comme nous venons de le voir avec les séries de Claude Monet, d'étudier les variations picturales liées à la lumière et à la technique. Ce qui va nous intéresser davantage dans le contexte de notre recherche, c'est l'art sériel abstrait, ce qui nous amène à poser la question suivante.

- 2) Quelle analogie peut-on faire entre l'art sériel et la présence de suites mathématiques dans des œuvres d'art ?

Marie-José Mondzain-Baudinet dit :

« L'exemple de Mondrian conduit au seuil de la seconde problématique impliquée par la série : la combinatoire. Ici la série apparaît comme la suite indéfinie des possibilités offertes par tel ou tel vocabulaire plastique. Une œuvre étant décomposable en un certain nombre d'éléments et de relations qui fonctionnent comme une axiomatique, une multitude de combinaisons peuvent s'obtenir à partir du simple jeu des permutations possibles entre ces éléments. L'exercice n'est plus une création progressive mais une multiplication résultant d'un inventaire systématique des figures possibles. Cette perspective combinatoire peut être aussi bien articulée au vieux rêve leibnizien qu'à la

théorie informatique. L'exercice sériel combinatoire est souvent solidaire d'un désir de démystification de l'art. Certains artistes voudraient par là en finir avec l'art élitiste, producteur d'objets uniques et rares. Ainsi pourrait-on associer les effets multiplicateurs de l'art combinatoire à la diffusion des multiples »¹⁴.

Marie-José Mondzain nous amène donc à passer de l'idée de travail sériel plastique à une démarche faisant intervenir la notion de dénombrement d'occurrences plastiques, ce qui nous amène à la notion d'analyse combinatoire d'un point de vue mathématique. Elle cite le travail de Mondrian qui, d'après elle, juxtapose plusieurs éléments, l'opposition horizontal/vertical, les couleurs primaires, bleu, rouge, jaune, les non-couleurs, noir, blanc, gris, ce qui lui permet une infinité de variations qu'il compose selon une logique combinatoire.

Le travail de Niele Toroni est aussi un bon exemple de passerelle entre l'art sériel et l'utilisation de suites mathématiques dans une œuvre. Chez Niele Toroni il y a, à la fois répétition d'œuvres mais aussi répétition au sein de chaque œuvre. Chacun de ses tableaux est constitué d'empreintes de pinceau n°50, espacées de 30 cm. Il reproduit ensuite chaque tableau quasiment à l'identique quant à l'aspect formel mais en faisant varier la couleur. Par exemple, dans sa série « *Empreintes de pinceau n°50 répétées à intervalles réguliers de 30 cm* » réalisée en 1983, il réalise dix tableaux avec le même protocole.

Le spectateur est alors confronté à ce double processus sériel, la répétition dans chaque tableau et la duplication de ces tableaux avec toutes les différences qu'ils comportent, la régularité des empreintes de pinceau n'étant pas parfaitement régulière et la couleur variant d'un tableau à l'autre. On a ici un type de répétition qui pourrait faire penser à une suite mathématique, la distance entre deux empreintes est toujours la même, donc sur chaque ligne d'empreintes on peut considérer que la suite des distances entre deux traces de pinceaux espacées régulièrement représente les termes d'une suite arithmétique de raison nulle, donc une suite constante, le terme u_1 étant égal à la distance entre la première et la seconde empreinte d'une

¹⁴ Marie-José MONDZAIN-BAUDINET, « SÉRIE, art », Encyclopaedia Universalis, <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/serie-art/>

même ligne, le terme u_2 étant égal à la distance entre la deuxième trace et la troisième et ainsi de suite jusqu'à la fin de la ligne. On peut également constater que les traces sont alignées sur des lignes obliques à intervalles réguliers et ainsi il est possible de construire une nouvelle suite arithmétique (v_n) avec les espacements des empreintes sur ces lignes.

Ce travail est procédural, se veut dépouillé de toute émotion et s'éloigne totalement de toute représentation de la réalité. Niele Toroni est représentatif de l'art conceptuel et de l'art minimaliste. En 1967 il fonde le groupe BMTP (selon Daniel Buren, BMTP serait un acronyme inventé par les critiques et les historiens pour désigner Buren, Mosset, Toroni, Parmentier, et cela contre leur avis).



Niele Toroni, *Empreintes de pinceau n°50 répétées à intervalles réguliers de 30 cm*, 1983, ensemble de dix tableaux, peinture glycérophtalique sur toile.

Le propos de Niele Toroni, comme celui de Mondrian, n'était certainement pas d'introduire des suites mathématiques dans leurs œuvres mais plutôt de définir un

protocole de travail. C'est l'analyse de leurs œuvres qui permet de mettre en évidence la présence sous-jacente de ces suites.

3) Mel Bochner et « l'attitude sérielle »

Mel Bochner est un artiste conceptuel américain né en 1940. Il a souvent présenté sa conception d'un art sériel, voire d'une « attitude sérielle ». Le sérialisme selon Mel Bochner, emprunte sa dimension combinatoire au sérialisme musical mais la problématique sérielle est bien différente dans le domaine des arts plastiques de ce qu'elle est en musique. Dans un article manifeste, « Serial Art, Systems, Solipsism », Mel Bochner explique :

« Systematic thinking has generally been considered the antithesis of artistic thinking. Systems are characterized by regularity, thoroughness, and repetition in execution. They are methodical. It is their consistency and the continuity of applications that characterizes them. Individual parts of a system are not themselves important but are relevant only in the way they are used in the enclosed logic of the whole.^{15 16} »

Chez Mel Bochner la notion de sérialité se situe davantage à l'intérieur d'une œuvre plutôt que dans la répétition de plusieurs œuvres. Son œuvre *Counting by five*, réalisée en 1971 en est un bon exemple, il répète inlassablement le motif de 4 bâtons verticaux coupés par un trait horizontal sur un même support. Ce motif symbolise une manière de dénombrer des objets ou des événements en les regroupant par paquets de 5, d'où le titre *Compter de cinq en cinq*.

Il précise sa théorie sur l'art sériel dans un article publié en décembre 1967 dans la revue Artforum « *The Serial attitude* » (*L'attitude sérielle*.) Il commence son article

¹⁵ Mel Bochner, « *Serial Art, Systems, Solipsism* », Arts Magazine, Summer, 1967.

¹⁶ Traduction : « *La pensée systématique a généralement été considérée comme l'antithèse de la pensée artistique. Les systèmes sont caractérisés par la régularité, la minutie et la répétition dans l'exécution. Ils sont méthodiques. C'est leur cohérence et la continuité des applications qui les caractérisent. Les différentes parties d'un système ne sont pas importantes en elles-mêmes, mais ne sont pertinentes que dans la façon dont elles sont utilisées dans la logique de l'ensemble.* »

en disant : « *Serial order is a method, not a style* »¹⁷. Il décrit le travail de plusieurs artistes comme Carl André, Donald Judd ou encore Sol LeWitt, où il reconnaît une dimension sérielle. Il fait également un parallèle avec la musique sérielle notant que l'arithmétique est souvent utilisée comme un dispositif de composition. Il fait référence également à l'analyse linguistique. Et enfin il donne quelques définitions mathématiques comme celle des suites mathématiques :

*Progression : A discrete*¹⁸ *series that has a first but not necessarily a last element in which every intermediate element is related by a uniform law to the others. (a) Arithmetic Progression - A series of numbers in which succeeding terms are derived by the addition of a constant number (2, 4, 6, 8, 10) (b) Geometric Progression – A series of numbers in which succeeding terms are derives by the multiplication, by a constant factor (2, 4, 8, 16, 32)*^{19 20}.

Il fait la distinction entre « *Progression* » et « *Series* » ce qui correspond à une distinction entre suites infinies et suites finies. Il écrit :

« *Series – A set of sequentially ordered elements, each related to the preceding in a specifiable way by the logical conditions of a finite progression, i. e. there is a first and last member, every member except the first has a single immediate predecessor from which it is derived and every member except the last a single immediate successor.* »^{21 22}

¹⁷ Traduction : « *L'ordre sériel est une méthode, pas un style* ».

¹⁸ Un ensemble discret est un ensemble dit « dénombrable » par opposition à un ensemble continu dans lequel on peut trouver une infinité d'éléments entre deux éléments consécutifs.

¹⁹ Mel Bochner, *The serial attitude*, 1967, p. 31, *Arforum* décembre 1967.

²⁰ Traduction : *Progression : Suite discrète comportant un premier élément, mais pas nécessairement un dernier, dans laquelle chaque élément intermédiaire est lié par une loi uniforme aux autres. (a) Progression arithmétique : suite de nombres dans laquelle les termes qui se succèdent sont obtenus par l'addition d'un nombre constant (2, 4, 6, 8, 10) (b) : Progression arithmétique : Suite de nombres dans laquelle les termes qui se succèdent sont obtenus par la multiplication par un facteur constant (2, 4, 8, 16, 32) ».*

²¹ Ibid, p. 31

²² Traduction : « *Série : Ensemble d'éléments séquentiellement ordonnés, chacun lié au précédent d'une manière spécifique par les conditions logiques d'une progression finie, c'est-à-dire qu'il y a un premier et un dernier terme, chaque terme, sauf le premier, a un seul prédécesseur immédiat dont il est issu et chaque élément sauf le dernier, un seul successeur immédiat* ».

Dans cet article Mel Bochner propose donc sa théorie d'une « attitude sérielle » en art, il édicte ainsi un certain nombre de principes de cette théorie et surtout il présente des outils pour construire des protocoles et des méthodes. C'est ainsi qu'il donne une place importante aux mathématiques et tout particulièrement aux suites mathématiques. Nous verrons plus loin comment il a intégré cette notion dans plusieurs œuvres.

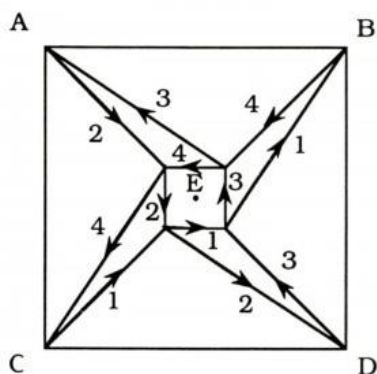


Mel Bochner, *Counting by five*, 1971, encre noire sur papier, 13,3 × 11 pouces (34,9 × 27,9 cm).

4) La sérialité dans la littérature

On retrouve la problématique de l'épuisement d'une situation dans *Quad*, la pièce de **Samuel Beckett** écrite en 1982, où les personnages doivent épuiser toutes les possibilités de parcourir les côtés et les diagonales d'un carré. Il y a dans la pièce de Beckett la recherche d'un certain minimalisme, mais ce qui frappe le plus c'est l'enfermement dans un espace fini et l'épuisement de cet espace, aucun regard ne se portant vers l'extérieur et surtout vers l'infini. Ce travail sériel sur un espace limité avec un nombre fini d'itérations correspond à une démarche qui introduit la notion de dénombrement. Dans cette pièce il y a quatre acteurs, dénommés respectivement 1, 2, 3 et 4. Ils doivent se déplacer sur les côtés et les diagonales d'un carré dont le côté mesure 6 pas. Leurs trajets sont définis par des séquences fixées à l'avance et qu'ils reproduisent un certain nombre de fois.

Dans chaque trajet les côtés sont parcourus une seule fois et les diagonales deux fois en sens inverse et le passage d'un segment vers le suivant ne se fait qu'entre segments formant un angle de 45°. Les acteurs doivent contourner le centre E du carré car leurs trajectoires se coupent à plusieurs moments, ce que l'on peut constater en comparant les différents trajets. Le croquis ci-dessous illustre la rencontre des quatre interprètes. Dans un mouvement ininterrompu ils sont successivement un, deux, trois, quatre sur scène, puis trois, deux, un, etc ..., tous les solos, duos et trios possibles étant représentés. Pour les lumières il utilise différentes couleurs qu'il combine de toutes les façons possibles. Samuel Beckett épuise donc le nombre fini de possibilités et a ainsi recours à l'analyse combinatoire. Cette œuvre littéraire se rapproche d'une œuvre plastique dans la mesure où les déplacements des personnages suivent des trajectoires sur le sol qui dessinent des formes géométriques.



Trajet de 1 : AC, CB, BA, AD, DB, BC, CD, DA
Trajet de 2 : BA, AD, DB, BC, CD, DA, AC, CB
Trajet de 3 : CD, DA, AC, CB, BA, AD, DB, BC
Trajet de 4 : DB, BC, CD, DA, AC, CB, BA, AD

Samuel Beckett, croquis illustrant les déplacements des acteurs dans la pièce *Quad*.

III. Suites et séries mathématiques dans l'art

1) Classement de quelques artistes selon le type de suites qu'ils ont utilisé.




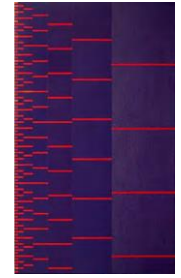
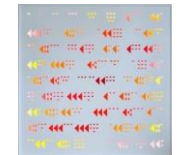


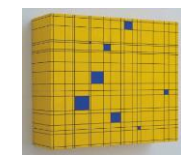
L'utilisation de séries dans l'art n'est pas récente, ce qui est très nouveau c'est que certains artistes contemporains s'approprient le concept mathématique de série et de suite dans leurs œuvres. Il est vrai que c'est un outil très riche qui permet d'aborder les notions de limites, que ce soit vers l'infiniment petit ou l'infiniment grand.


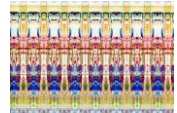



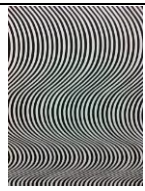


Pour préparer cette recherche j'ai commencé par faire une première sélection, au sein de la collection du Centre Georges Pompidou, des artistes et des œuvres du XX^{ème} siècle dont les mathématiques sont une composante. J'ai établi une liste²³ de 189 artistes qui me semblent avoir un lien plus ou moins proche avec les mathématiques. Actuellement le Centre possède les œuvres d'environ 6000 artistes, cette liste représente donc environ 3% de la collection complète. Parmi ces 189 artistes, seulement 58 sont exposés dans les collections permanentes, dont 37 dans les collections modernes et 21 dans les collections contemporaines. Cette répartition met en évidence le fait que les mathématiques ont été davantage présentes dans la période moderne avec l'avènement de l'art abstrait au travers de différents mouvements comme le constructivisme, l'art construit, le néo-plasticisme ou le suprématisme. La période contemporaine a vu les mathématiques moins présentes mais utilisées de façon plus conceptuelle et enfin vers la fin du XX^{ème} siècle les nouveaux progrès des technologies ont fait émerger de nouvelles formes artistiques avec l'art fractal ou l'art numérique. Si la géométrie élémentaire a été abondamment utilisée dans l'art géométrique ou l'art concret, les séries et les suites apparaissent davantage dans l'art minimal ou l'art conceptuel.


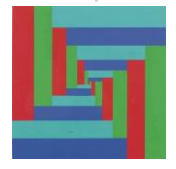
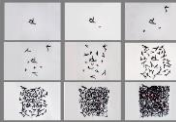


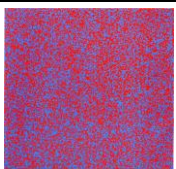




Parmi ces 189 artistes ayant utilisé les mathématiques, j'ai recherché ceux qui ont travaillé avec les suites, et pour compléter cette étude j'ai, bien sûr, recherché des œuvres d'autres artistes correspondant à cette problématique dans les grands musées d'art contemporain du monde comme, par exemple, le MOMA à New York ou la Tate Modern à Londres ou encore des artistes un peu moins reconnus dont le travail est très intéressant au regard de cette problématique.


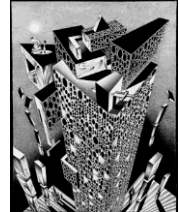


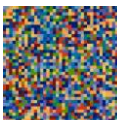





²³ Cette liste est en annexe C à la page 275.


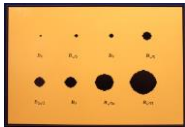




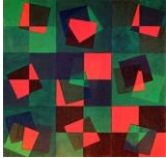


Dans le tableau ci-dessous j'ai cité les principaux artistes ayant travaillé sur les suites mathématiques avec une description de quelques œuvres qui font partie de mon corpus.

Artiste	Mouvement	Titre Œuvres	Date	Visuel	Description	Suites utilisées
MERZ Mario (1925 - 2003)	Arte Povera	<i>Crocodilus Fibonacci</i>	1972		Installation avec de la lumière, Crocodile naturalisé, néons, transformateurs	Suite de Fibonacci
JUDD Donald (1928 - 1994)	Art minimal Art conceptuel	<i>Untitled</i>	1974		Aluminium anodisé et acier inoxydable, 15,6 x 281,3 x 15,2 cm.	
LONG Richard (1945 -)	Land Art	<i>Fibonacci Walk</i>	2009			
BÉZIE Charles (1934 -)	Art construit	<i>Suite de Fibonacci N°1408</i>	2005		Acrylique sur toile, 180 X 106 cm	
LEBLANC Philippe (1964 -)		<i>Babylonacci</i>	2019		bois, acier, acrylique, lumière noire, 81 x 81 x 7 cm	
SIZONENKO Ivan (1960 -)		<i>ADN de Fibonacci</i>	2009		120 X 120 cm, Polyptique, 5 X 20 X 120 cm	
KISSELEVA Olga (1965 -)	Art numérique	<i>l'Arbre de Syracuse</i>	2013		œuvre <i>in situ</i> au lycée de Pornic	Suite de Syracuse
HOTTER Gerhard (1954 -)	Art construit	<i>EX</i>	2015		acrylique sur bois, 30 x 30 x 9 cm	Suites de Dudley Langford

Artiste	Mouvement	Titre Œuvres	Date	Visuel	Description	Suites utilisées
ALBERS Josef (1888 - 1976)	Abstraction géométrique	<i>Affectionate (Homage to the Square),</i> (Affectueux (Hommage au carré)),	1954		Huile sur Isorel, 81 x 81 cm, 82,7 x 82,7 cm (avec cadre), profondeur avec cadre: 3,0 cm	Suite arithmétique
RICHTER Gerhard (1932 -)		<i>Motifs, IV, 7/16, 2012</i>	2012			Suite géométrique
JOHNS Jasper (1930 -)	Expressionnisme abstrait Pop Art	<i>Numbers</i> , Série de 10 dessins, 1960-1971, série.	1960 - 1971		Lithographie découpée, contrecollée sur papier, retravaillée à la peinture acrylique et à l'huile, collage de fibres et de papier Japon déchiré, 32,2 x 27,5 cm	Suite arithmétique
FLAVIN Dan (1933 - 1996)	Minimalisme	<i>The Nominal Three</i> (To William of Ockham) Les trois nominaux (à Guillaume d'Ockham)	1963		Œuvre constituée d'une succession de tubes fluorescents blancs froids verticaux en séquence 1, 2 et 3, disposés sur un mur	suite arithmétique
ANDRE Carl (1935 -)	Minimalisme	<i>Nineteenth Copper Cardinal</i>	1975		Dix-neuf plaques de cuivre , 0.5 x 50cm / 0.20 x 19.69 inch	Suites constantes
BUREN Daniel (1938 -)	Minimalisme Art conceptuel	<i>Jamais deux fois la même,</i> Sous-titre : Travail in situ et évolutif	1968		Des bandes parallèles d'une largeur fixe (8,7 cm)	Suites constantes
RILEY Bridget (1931 -)	Op Art	<i>Fall</i>	1963		Peinture à l'acétate de polyvinyle sur panneau dur, 141 x 140 cm	Suites constantes
FRIZE Bernard (1954 -)	Abstraction	<i>Jacob, Isaac, Terah</i>	2004		huile sur toile, triptyque	Suites constantes
DECRAUZAT Philippe (1974 -)	Art Optique	<i>Can I Crash Here</i>	2005		Peinture au sol en adhésif, dimensions variables	Suites constantes
JUDD Donald (1928 - 1994)	Art minimal Art conceptuel	<i>Stack</i> , (Pile),	1972		Installation murale composée de 10 éléments superposés à équidistance. Acier inoxydable, Plexiglas rouge, 470 x 102 x 79 cm, chaque élément : 23 x 102 x 79 cm.	Suites constantes

Artiste	Mouvement	Titre Œuvres	Date	Visuel	Description	Suites utilisées
VAN DOESBURG Théo (1883 - 1931)	Mouvement de Stijl Constructivisme	<i>Composition arithmétique</i>	1930		Huile sur toile 1,01 m X 1,01 m	Suites géométriques
LOHSE Richard-Paul (1902 - 1988)	Art Concret	<i>Komposition</i>	1950 - 1969		sérigraphie, 41 x 41cm	Suites arithmétiques
MOSTA-HEIRT Côme (1946 -)		<i>De l'un à l'autre</i>	2018		Installation	Suites géométriques
TORONI Niele (1937 -)	Minimalisme	<i>Empreintes de pinceau n° 50 répétées à intervalles réguliers de 30 cm</i>	1983		Acrylique sur toile de lin, 233 x 249 cm.	Suites constantes
VIALLAT Claude (1936 -)	Un des fondateurs de Supports-Surfaces en 1969	<i>Sans titre (n°40)</i>	1968		Peinture, Toile libre, Formes bleues sur fond rouge, Teintures d'éosine et bleu de méthylène sur toile, 280 x 194 cm	Suites constantes
MORELLET François (1926 - 2016)	Abstraction géométrique Fondateur du G.R.A.V. Art Optique	<i>Répartition aléatoire de 40000 carrés selon les chiffres pairs et impairs d'un annuaire de téléphone</i>	1961		huile sur toile, 100 x 100 cm	Suites aléatoires
RICHTER Gerhard (1932 -)		<i>1024 Farben (350-3)</i>	1973		Laque sur toile, 254 x 478 cm.	Suite aléatoire
FILLIOU Robert (1926 - 1987)	Mouvement Fluxus	Livre-étalon	1981			Suite arithmétique
NEMOURS Aurélie (1910 - 2005)	Abstraction géométrique	<i>Nombre et Hasard (V 154),</i>	1991		Peinture vinylique sur papier, 51 x 51 cm	Suites aléatoires
MOLNAR Vera (1924 -)	Art numérique Art algorithmique Abstraction géométrique	<i>Angle droit distribué au hasard, de la série : Cycle "A la recherche de Paul Klee",</i>	1970		Huile sur toile, 73 x 73 cm	Suite aléatoire

Artiste	Mouvement	Titre Œuvres	Date	Visuel	Description	Suites utilisées
MORELLET François (1926 - 2016)	Art Optique	<i>6 répartitions aléatoires de 4 carrés noirs et blancs d'après les chiffres pairs et impairs du nombre Pi</i>	1958		Ensemble de 6 éléments, 6 panneaux carrés, Huile sur bois, 80 x 80 cm	Décimales de π
FOMENKO Anatoly (1945 -)	Art mathématique	<i>The remarkable numbers pi and e, I</i>	1986		encre de Chine et crayon sur papier, 32 x 44 cm	Décimales de π et décimales de e
SIMS John		<i>Seeing Pi</i>	2006		8' X 8', coton	Décimales de π
STAMP Arlène (1938 -)	Art conceptuel	<i>Sliding Pi</i>	1996		mosaïque murale dans le métro de Toronto	Décimales de π
HOTTER Gerhard (1954 -)	Art concret	<i>maybe (Gromringers Worte) Pi</i>	2009		acrylique sous verre d'acrylique sur alu dibond, 80 x 80 cm	Décimales de π
TOMBROFF Michel (1964 -)		<i>Deux</i>	2018		réglettes de bois disposées sur un cube, 45 x 45 x 45 cm	Décimales de la racine cubique de deux
		<i>pi</i>	2018		deux panneaux de bois de 80 x 80 cm, peinture noire acrylique, cercle en balsa, réglettes en bois de hêtre	Décimales de π
FERRER Esther (1937 -)	Performances Minimalisme	<i>Le poème des nombres premiers</i>				Suites de nombres premiers
BOCHNER Mel (1940 -)	Art conceptuel	<i>24 Reading Alternatives, (24 propositions de lecture),</i>	1971		Ensemble de 24 dessins de 42,90 x 35,20 cm chacun, 2 panneaux de 12 dessins, Crayon-feutre sur papier, 42,90 x 35,20 cm	Suites de nombres
DARBOVEN Hanne (1941 - 2009)	Art conceptuel	<i>KI-Zeichnung</i>	1966 - 1967		mine graphite sur papier, 66 x 60 cm	Suites de nombres

Artiste	Mouvement	Titre Œuvres	Date	Visuel	Description	Suites utilisées
OPALKA Roman (1931 - 2011)	Art conceptuel	<i>Opalka 1965/1 à l'infini, détail 3673089-3673326,</i>	1965 - 1985		Encre de Chine sur papier sous coffret de plexiglas, 33,9 x 24,8 x 2,6 cm	Suites de nombres
VENET Bernar (1941 -)	Art conceptuel	<i>Related to : Morphological Operators with Discrete line Segments</i>	2001		Acrylique sur toile , 183 X 243 cm	Suite obtenue après itération d'un processus de morphologie mathématique
CADERE André (1934 - 1978)	Art minimal Art conceptuel	<i>Six barres de bois rond</i>	1975		bois peint, 120 cm	Suite de permutations circulaires
LEWITT Sol (1928 - 2007)	Art minimal Art conceptuel	<i>Serial project NO, 1 (ABCD)</i>	1966		Laque sur aluminium, 51x414x414cm,	Dénombrement
MOHR Manfred (1938 -)	Art Numérique	<i>Inversion Logique</i>	1971		Œuvre numérique réalisée avec le logiciel FORTRAN IV	Dénombrement Suite logique
VASARELY Victor (1906 - 1997)	Art optique	<i>Orion MC</i>	1964		acrylique sur toile, 84 x 80 cm	Dénombrement
AYME Albert (1920 - 2012)		<i>Carré Magique n°10</i>	1982		Pigments purs sur papier chiffon 640 gr	Carrés magiques
BOCHNER Mel (1940 -)	Art conceptuel	3	1966		encre sur papier millimétré	Suites géométriques, Fractales
Jérémie Brunet	Art fractal, Art numérique	<i>3D Burning Ship</i>	2010		Digigraphie	Suites complexes, Fractales

2) La place des suites mathématiques dans les mouvements artistiques proches des mathématiques

La définition de la notion de Mouvement artistique peut varier selon que l'on se place du point de vue du critique d'art ou du groupe d'artistes associés à ce mouvement. On peut parler de mouvement artistique, de courant artistique ou encore de groupe artistique.

La dénomination de certains mouvements résulte de l'analyse de critiques d'art qui ont reconnu une esthétique commune chez plusieurs artistes, donnant des noms à ces mouvements, noms qui ont parfois été récusés par les artistes eux-mêmes. A contrario, certains mouvements sont revendiqués par les artistes eux-mêmes et font l'objet de manifestes qui entérinent leur existence.

Pour toutes ces raisons il est difficile de faire un catalogue précis et rigoureux de l'appartenance ou non d'un artiste à un mouvement. C'est pourquoi, dans le tableau précédent, la situation de notre corpus d'artistes au regard des mouvements auxquels ils sont censés appartenir peut ne pas être clairement définie. D'autre part, certains artistes peuvent revendiquer appartenir à plusieurs mouvements, soit parce que leur œuvre a évolué au fil du temps, soit parce que leur œuvre est protéiforme, soit également parce que leur démarche est inclusive au sens où, par exemple, une œuvre donnée peut relever de l'Abstraction géométrique, du Minimalisme et de l'Art Conceptuel. D'autres peuvent contester leur classement dans tel groupe.

Néanmoins, nous pouvons reconnaître la proximité de la plupart des artistes de notre corpus avec des mouvements artistiques consensuellement reconnus.

Si nous observons notre corpus d'artistes énumérés dans le tableau précédent nous remarquons que les mouvements représentés sont essentiellement l'Art géométrique, l'Art Construit, l'Art minimal et l'Art Conceptuel, certains des artistes pouvant se revendiquer de plusieurs de ces mouvements.

Il est clair que les suites mathématiques ont souvent été utilisées par les artistes comme un concept, nous voyons donc une proximité avec l'Art Conceptuel chez la plupart d'entre eux.

Par contre, la dimension géométrique n'est pas nécessairement présente. Par exemple, comme nous le verrons plus loin lors de l'étude plastique des œuvres, la représentation des suites mathématiques ne passe pas forcément par un langage géométrique mais par

l'écriture des nombres de ces suites comme chez Mario Merz ou encore Jasper Johns. Leur représentation est conceptuelle mais n'utilise pas la géométrie. Néanmoins, chez un grand nombre de ces artistes la dimension géométrique est très présente et met une distance entre le sujet représenté et sa compréhension par le spectateur.

DEUXIÈME PARTIE : ANALYSE PLASTIQUE

I. Analyse d'œuvres

1) Suites particulières

Commençons par un regard sur les artistes ayant utilisé des suites particulières. Lorsque l'on trouve l'une de ces suites dans l'œuvre d'un artiste cela signifie que c'est une volonté délibérée de l'utiliser et que la démarche de l'artiste explique cette présence. Nous verrons plus loin que pour d'autres types de suites c'est en faisant une analyse plastique de l'œuvre que nous les découvrons et que l'artiste lui-même n'a pas nécessairement vu le contexte mathématique de suite qui sous-tendait son œuvre. Nous avons identifié trois suites particulières dont la plus emblématique est la suite de Fibonacci que l'on retrouve chez plusieurs artistes, et souvent de façon récurrente, puis la suite de Syracuse et la suite de Dudley Langford. Ce ne sont certainement pas les seules suites présentes dans des œuvres d'art mais à ce stade de notre étude ce sont les seules que nous avons identifiées. Elles se répartissent ainsi : La suite de Fibonacci avec Mario Merz, Donald Judd, Richard Long, Charles Bézie, Philippe Leblanc et Ivan Sizonenko, la suite de Syracuse avec Olga Kisseleva. Les suites de Dudley Langford avec Gerhard Hotter.

1. La suite de Fibonacci

a. **Mario Merz**

Mario Merz est un artiste du mouvement Arte Povera. A partir de 1968-1969, il réalise son premier igloo, que l'on retrouvera de façon récurrente dans son travail et qui fera son succès international. Il crée ce premier igloo dans l'esprit de guérilla qui animait Arte Povera, il le nomme l'*Igloo di Giap*, du nom d'un général qui a résisté aux américains durant la guerre du Vietnam. Ses structures en forme d'igloos utilisent des matériaux très disparates ce qui correspond à la démarche prônée par Arte Povera, qui consiste à privilégier le processus, l'acte créateur au détriment de l'objet fini. Il sort ainsi de la pratique bidimensionnelle.



En 1970, il introduit dans ses œuvres la suite de Fibonacci, et la fera apparaître sous différentes formes. Il réalise les chiffres de la suite avec des tubes en néon et les place, soit sur ses œuvres, soit dans des lieux d'exposition, comme, en 1971 le long de la spirale du Musée Solomon R. Guggenheim à New York, ou en 1984 sur le Mole Antonelliana de Turin.

En 1972 il commence à placer des néons représentant les chiffres de la suite de Fibonacci sur le toit de certains de ses igloos.

Mario Merz, *Fibonacci Igloo*, 1972, Structure en métal avec tissu rembourré, fil de fer et chiffres au néon, 100 × 200 cm

C'est aussi l'époque où il crée son œuvre emblématique *Crocodylus Fibonacci*, dans laquelle il place ses chiffres sur un mur ainsi qu'un crocodile naturalisé. Il réalisera plusieurs versions de cette œuvre, dont l'une d'elles est exposée au centre Beaubourg à Paris. Rappelons que la suite de Fibonacci est une suite d'entiers dans laquelle chaque terme, à partir du troisième, est la somme des deux termes qui le précèdent. Elle commence soit par les termes 0 et 1, soit par les termes 1 et 1 et ses premiers termes sont alors 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, etc, ... ou 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, etc Le plus souvent, Mario Merz fera commencer ses suites par les deux premiers termes 1 et 1. Il utilise cette suite comme symbole de l'énergie inhérente de la matière et de la croissance organique. Devant cette œuvre on a l'impression que le crocodile, en se déplaçant, engendre la suite des nombres de Fibonacci, symbolisant ainsi une sorte de prolifération. Le choix d'un animal, en l'occurrence un crocodile, est une sorte d'hommage à Leonardo Fibonacci qui avait choisi d'illustrer la suite qui porte son nom par la croissance d'une population de lapins, en 1202, dans son ouvrage *Liber abaci*. Les nombres, chez Mario Merz, ont une place fondamentale. Ils sont souvent présents dans ses installations, et cela depuis 1968. Il a toujours été question de leur donner une réalité, de les mettre en vie, du fait même de la dynamique qu'ils contiennent en eux. Dans une publication de l'ARC, il dit à propos des nombres :

*« Les nombres qui se multiplient sont aussi réels que les animaux qui se reproduisent. La vision est globale. Le rationnel et l'irrationnel se reproduisent. Les nombres se reproduisent comme des animaux. Les animaux se reproduisent comme des nombres. Les lois mathématiques et physiques sont en expansion. Animaux vivants, indépendants du règne animal. Les lois en mouvement des mathématiques et de la physique des animaux réels. Les nombres sont des animaux vivants. La réalité est numérique. Manger deux pommes ce n'est pas ... Manger une pomme... car c'est un processus numérique en expansion».*²⁴.

²⁴ Texte publié par l'ARC (Animation, Recherche, Confrontation) à l'occasion de l'exposition sur Mario Merz en 1981 au Musée d'Art Moderne de la Ville de Paris, Interview de l'artiste par S. Pagé et J.C. Ammann.



Mario Merz, *Crocodylus Fibonacci*, 1972, installation avec de la lumière, crocodile naturalisé, néons, transformateurs, Dim. Crocodile : 40 × 182 × 59 cm, longueur de l'installation : 22 m.

A propos de son œuvre *Crocodilus Fibonacci*, il dit :

« La fin de cette opération n'existe pas [...] mais dans la macroscopie de la dilatation se renouvelle le ferment organique du développement comme prolifération. Il verse l'espace dans un espace plus grand qui est l'espace infini. »

En 1973, Mario Merz interprétera la dynamique de la suite Fibonacci, avec des dispositifs de tables qui incarnent l'occupation de l'espace par un groupe social et qu'il mettra en pratique dans beaucoup d'installations. Dans une cantine d'ouvriers, il prend dix photographies successives, prises sous le même angle. Il présente ces photographies en les surmontant d'un néon qui représente le nombre de personnes dans la cantine au moment de la photo, la première image est surmontée du néon « 1 » et montre une seule personne debout dans la pièce. La seconde image est surmontée aussi d'un « 1 », et là aussi une seule personne (différente de la première) occupe la salle, la troisième photographie montre deux personnes, la suivante trois, puis 5, 8, 13, ... jusqu'à ce que 55 personnes occupent la salle, cette dernière photographie étant surmontée à son tour du néon « 55 ». A propos de cette installation il dira :

« Je refuse l'orientation linéaire, du 1 par 1, et de l'occupation de l'espace en ligne. Je refuse l'idée qu'il pourrait y avoir un nombre fixe de personnes dans l'espace. Les tables qui font partie intégrante de la vie quotidienne doivent être faites pour un espace plein ou pour un espace vide. Pour 1 personne. Pour une autre personne. Pour 2 personnes puis, pour 3 personnes. Pour 5 personnes. Pour 8 personnes. Pour 13 personnes. Pour 21 personnes. Pour 34 personnes. »²⁵

²⁵ Mario Merz, 1973.



Mario Merz, *Fibonacci Napoli*, 1973, 10 photographies Noir et Blanc identiques d'une salle de réunion, salle qui se remplit de personnes au fil de la journée.



Mario Merz, Détails de *Fibonacci Napoli* :

Ci-dessus, trois de ces photographies, prises dans la cantine d'une fabrique à S. Giovanni à Teduccio, Napoli, avec une personne, 21 personnes puis 55 personnes.

Il réalise également une installation avec des journaux, *Il Giornale del resto del Carlino del Maggio*. Ce sont des piles de journaux qui relatent le tremblement de terre du 6 mai 1976 dans le Frioul au nord d'Udine. Chaque pile de journaux est surmontée d'un nombre en néon, chaque nombre étant un terme de la suite de Fibonacci.



Mario Merz, *Il Giornale del resto del Carlino del Maggio*, 1976..

Le Mole Antonelliana est un édifice de 167 mètres de hauteur qui domine la ville de Turin. C'est un des bâtiments en maçonnerie les plus élevés en Europe. En 1984 Mario Merz crée une installation lumineuse *Il volo dei numeri* (l'envol des nombres) qui sera placée au sommet de l'édifice. Ainsi on peut voir les premiers nombres de la suite de Fibonacci qui s'élèvent vers le ciel.



Mario Merz, *Il volo dei numeri*, 1984, néons sur le Mole Antonelliana à Turin.

Mario Merz cherche à utiliser des lieux où il peut représenter les termes de la suite de Fibonacci en ascension vers le ciel comme s'il voulait symboliser l'infini. Il choisit la cheminée de l'ancienne usine de tilleul d'Unna en Rhénanie-du-Nord-Westphalie. Il place seize néons représentant les seize premiers termes de la suite dans l'ordre croissant vers le haut de la cheminée, le 16^{ème} terme étant égal à 987.

En 1994 il installe dix néons représentant les dix premiers termes de 1 à 55 sur la cheminée de l'usine Turku Energia qui se trouve dans la ville de Turku en Finlande. Par contre, dans cette installation les nombres ne sont pas dans l'ordre croissant vers le haut mais vers le bas.

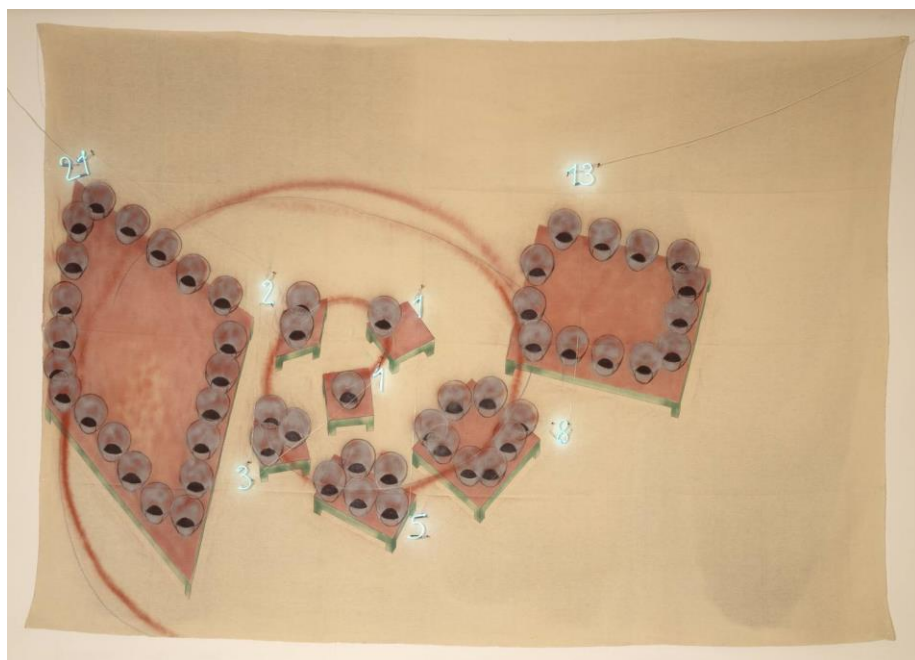


Mario Merz, *suite de Fibonacci*, 1 à 987 en néons sur la cheminée d'une usine à Unna.



Mario Merz, *Suite de Fibonacci*, 1994, 1 à 55 en néons sur la cheminée de Turku Energia.

Dans un de ses carnets de 1970 on retrouve des études sur des spirales qui utilisent les nombres de Fibonacci. La spirale revient dans d'autres œuvres comme une suite de tables avec des verres, le nombre de verres sur chaque table étant égal à un nombre de Fibonacci, les tables étant disposées en spirale.



Mario Merz, *Tables de Fibonacci*, 1974-1976, Fusain, peinture acrylique, peinture métallisée et néon sur toile, 2667 x 3822 mm, Tate, Londres.

b. Donald Judd

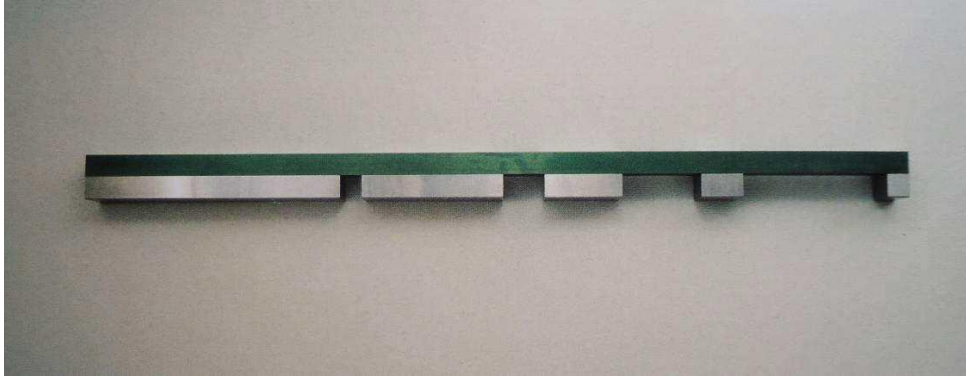
Donald Judd est un artiste américain dont le travail s'inscrit dans le mouvement minimaliste. Dans son texte « Specific Objects » publié en 1965 dans *Arts Yearbook*, n°8, il écrit :

Les trois dimensions sont l'espace réel. Cela élimine le problème de l'illusionnisme et de l'espace littéral, de l'espace dans et autour des traces et des couleurs - qui est débarrassé de l'un des vestiges les plus frappants et les plus contestables de l'art européen. Les nombreuses limitations de la peinture n'existent plus. Une œuvre peut être aussi être forte dans sa réalisation qu'elle a pu l'être en pensée. Un espace réel est fondamentalement plus fort et plus spécifique que de la peinture sur une surface plane. A l'évidence, tout objet en trois dimensions peut prendre n'importe quelle forme, régulière ou irrégulière, et peut avoir toutes sortes de relations avec le mur, le sol, le plafond, la pièce, les pièces ou l'extérieur ou n'en avoir pas. N'importe quel matériau peut être utilisé, tel quel ou peint.^{26 27}

Il réalise des sculptures abstraites à partir de boîtes métalliques dont il fait varier les dimensions selon des protocoles qui s'appuient souvent sur des suites mathématiques. Ses variations sont des progressions mathématiques, soit arithmétiques, soit construites dans l'ordre décroissant des nombres naturels ou bien encore représentant la suite de Fibonacci. Ces sculptures métalliques sont des compositions soit verticales, soit horizontales et qui tiennent compte de l'espace dans lequel elles sont exposées.

²⁶ *Specific Objects*, Donald Judd, *Arts Yearbook*8, 1965.

²⁷ Texte original : *Three dimensions are real space. That gets rid of the problem of illusionism and of literal space, space in and around marks and colors – which is riddance of one of the salient and most objectionable relics of European art. The several limits of painting are no longer present. A work can be as powerful as it can be thought to be. Actual space is intrinsically more powerful and specific than paint on a flat surface. Obviously, anything in three dimensions can be any shape, regular or irregular, and can have any relation to the wall, floor, ceiling, room, rooms or exterior or none at all. Any material can be used, as is or painted.*



Donald Judd, *Untitled*, Aluminium anodisé vert et acier inoxydable, 1974. 15,6 × 281,3 × 15,2 cm.

Dans cette œuvre la suite de Fibonacci apparaît deux fois, lorsqu'on regarde la répartition des morceaux d'aluminium sur la partie inférieure, les longueurs de ces morceaux sont respectivement proportionnels aux nombres 1, 2, 3, 5 et 8 en allant de droite à gauche. Maintenant si on considère la suite des espaces entre ces morceaux ils sont proportionnels à 1, 2, 3 et 5, en allant de gauche à droite. Il impose au spectateur une lecture des espaces vides et des espaces pleins en balayant l'œuvre de droite à gauche et de gauche à droite. Il écrit : « *Le creux et le relief sont deux choses qui, après tout, n'en font qu'une seule* »²⁸.

Il a réalisé plusieurs versions de ses progressions. Dans l'œuvre ci-dessous, datant de 1969, on peut lire les termes 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21 de gauche à droite et les termes 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13 de droite à gauche en regardant les espaces vides.



Untitled, Donald Judd, Aluminium, 1969, 20 × 647 × 21 cm.

²⁸ *Specific Objects*, Donald Judd, Arts Yearbook n°8, 1965.

Donald Judd aborde de façon très différente la représentation de la suite de Fibonacci par rapport à ce que nous avons pu voir chez Mario Merz qui a choisi d'écrire les termes de cette suite, sans aucune abstraction dans cette représentation. Donald Judd a une démarche abstraite minimaliste, le spectateur ne reconnaît pas forcément la présence des termes de la suite alors que chez Mario Merz la suite de Fibonacci est explicite, démonstrative. Les sculptures minimalistes de Donald Judd s'appuient davantage sur des considérations formelles plutôt que sur un contenu métaphorique. Chez Mario Merz il y a une volonté d'installer un contenu métaphysique en cherchant à se débarrasser d'une vision minimaliste et formelle de la sculpture, une grande place étant faite au choix des matériaux comme chez tous les artistes de l'Arte Povera, des matériaux plutôt organiques et pauvres. L'art de Mario Merz n'est pas politiquement neutre, alors que Donald Judd défend un art autonome. Il dit :

« L'art, la danse, la musique et la littérature doivent être considérés comme des activités autonomes, et non comme des ornements destinés à rehausser des buts politiques et sociaux. »²⁹

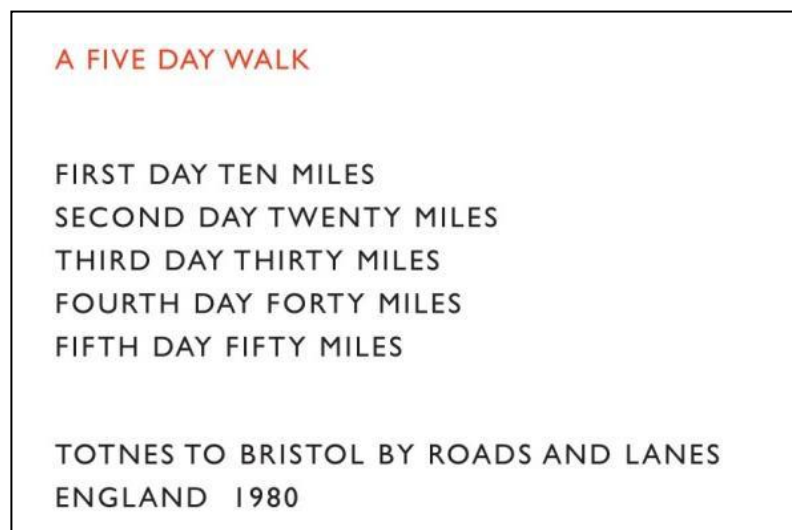
²⁹ In Donald Judd, *Écrits 1963-1990*, tr. fr. Annie Perez, Paris, Daniel Lelong éditeur, 1991, p. 64.

c. Richard Long

Richard Long est un artiste anglais du Land Art. Il réalise seul ses interventions dans la nature. Soit il intervient en déplaçant des matériaux de façon manuelle et il immortalise ces interventions par des photographies, soit il marche dans la nature et prend des notes et son œuvre est alors constituée de sa marche et des notes, cartes et dessins associés à cette marche. Il dit :

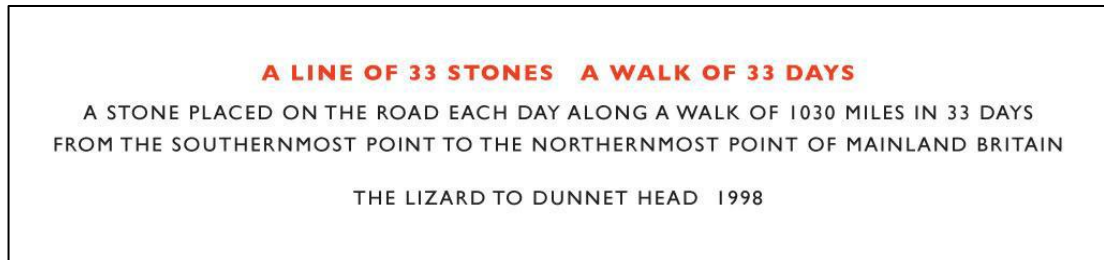
« Mon travail est en relation avec la vision, le paysage et le temps : il y est question de se déplacer à travers le paysage, et de faire réellement des sculptures, probablement temporaires, sur un parcours. [...]. Et par le simple fait de marcher, je peux faire de l'art sur une échelle fantastique, en termes de kilométrage. »

Il assortit ses marches de petits textes que l'on pourrait presque apparenter à une démarche conceptuelle. Parfois ce sont de petits poèmes, sorte de poésie minimale, d'autres fois ce sont des listes, des séries, l'énumération des jours qui se succèdent avec les distances parcourues. En 1980 il réalise « *A five day walk* » où il parcourt dix miles le premier jour, vingt miles le deuxième jour, jusqu'à cinquante miles le cinquième jour. Il a construit cette marche selon un protocole qui utilise une suite arithmétique de premier terme dix et de raison dix.



Richard Long, *A Five day walk*, 1980.

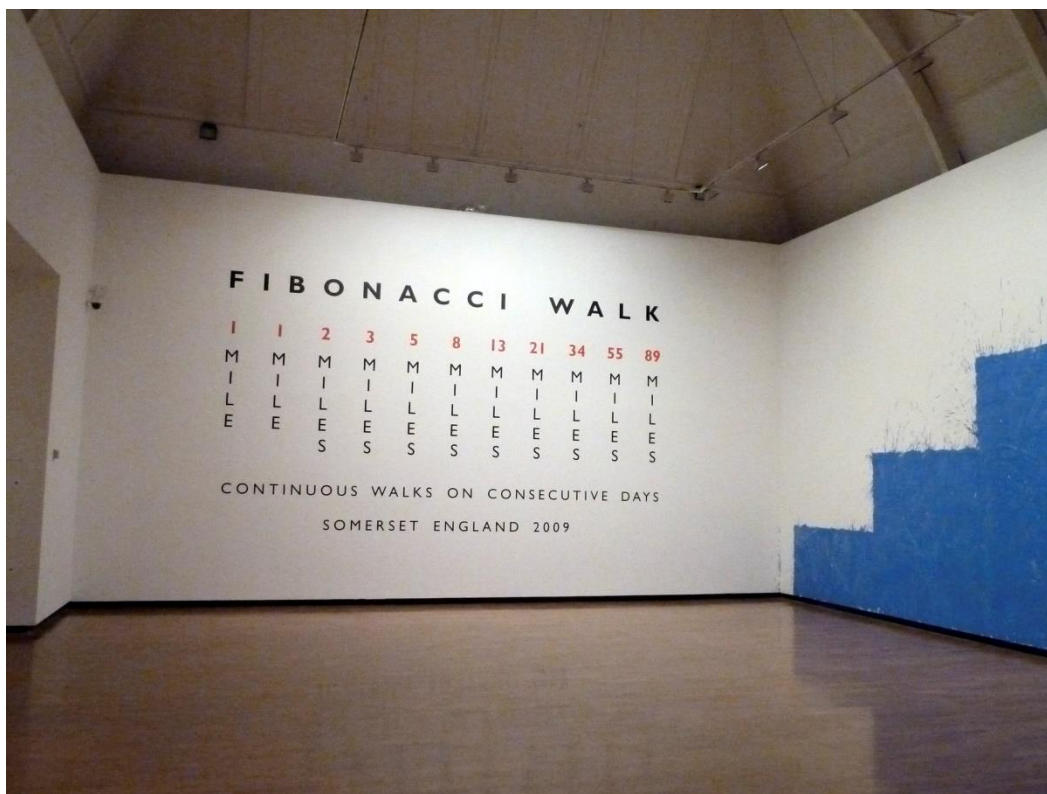
Dans sa marche « *A Line of 33 stones, a walk of 33 days* » (*Une ligne de 33 pierres, une marche de 33 jours*) il ponctue son trajet en posant une pierre chaque jour sur la ligne parcourue. Il y a l'idée de régularité, donc de suite constante même si l'on ne sait pas s'il pose ses pierres à distances égales et à intervalles de temps égaux.



En 2009 il réalise la « *Fibonacci walk* » dans laquelle il parcourt quotidiennement un nombre de miles qui augmente, chaque jour il parcourt la somme des distances parcourues les deux jours précédents, chaque marche représente alors en miles un nombre de la suite de Fibonacci. Cette marche dure 11 jours, le dernier parcours étant égal à 89 miles.



Richard Long, *Fibonacci Walk*, 2009.



Fibonacci Walk, Richard Long, 2009.

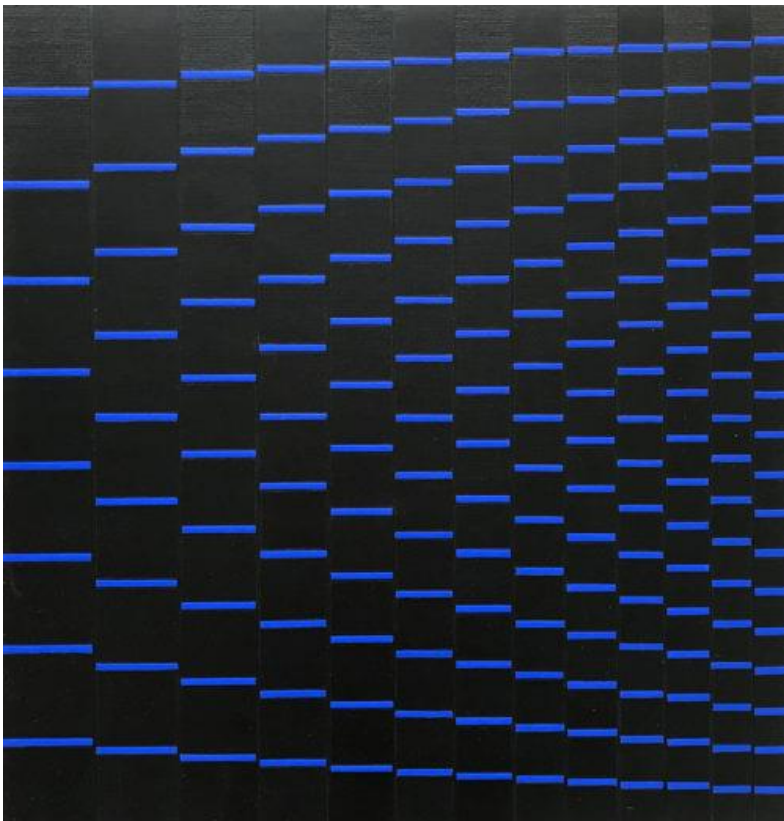
L'utilisation des suites mathématiques, et en particulier de la suite de Fibonacci, chez Richard Long n'est pas un objectif en soi mais un outil conceptuel. Il joue avec les mots, avec les phrases, avec les chiffres. Toute sa pratique artistique est tournée vers la transformation du paysage et surtout vers le parcours du paysage par la marche. Comme il prend des notes sur toutes ses marches il était naturel que des suites mathématiques apparaissent. Tout d'abord l'idée d'augmenter la distance parcourue chaque jour par une distance constante paraît naturelle d'où l'apparition d'une suite arithmétique dans la marche « *A Five day walk* ». Il paraît également naturel que le choix d'une progression emblématique se soit imposé à lui, d'où l'apparition de la suite de Fibonacci dans la marche « *Fibonacci walk* ».

d. Charles Bézie

Charles Bézie se définit comme un artiste de l'Art Construit et rejette toute figuration. Son travail est basé sur la notion de rythme, il dit : « *j'utilise des progressions de nombres pour créer ces rythmes* » (voir annexe B, page 271, sur entretien avec Charles Bézie). Il travaille par séries sur un thème donné pendant des périodes plus ou moins longues. Il écrit :

En 1995, en tenant compte de conversations avec Aurélie Nemours j'abandonnais les obliques.

Depuis cette date, mon travail est une recherche sur les rythmes, obtenus à partir des chiffres ; rythmes irréguliers avec « gradations » où les carrés ont leur surface divisée par des traits et rythmes réguliers, avec « cadences » où les rangées de carrés sont soulignés seulement en haut et en bas.



De 1999 à 2003 la série *Cadences* répond à un protocole bien précis, les toiles sont découpées en bandes verticales, chaque bande étant elle-même découpée en carrés identiques. On voit que cette composition fait référence à une suite arithmétique puisque les colonnes contiennent successivement 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 carrés. Dans cette série *Cadences*, il a parfois découpé la bande de gauche en 6 carrés ou encore seulement 2 carrés, mais le protocole reste le même, le nombre de carrés dans les bandes suivantes suit une suite arithmétique.

Charles Bézie, *Cadences*, 2003, acrylique sur toile, 41 × 41 cm.

Il dit, à propos de cette série :

Dans « Cadences » chaque bande verticale est découpée en carrés de même surface, le nombre de ces carrés variant pour chaque bande, par exemple la bande de gauche est découpée en deux carrés identiques, la deuxième en trois, la suivante en quatre, etc ... Le nombre de carrés d'une bande détermine la largeur de cette bande. Cela donne à l'ensemble des rythmes réguliers.



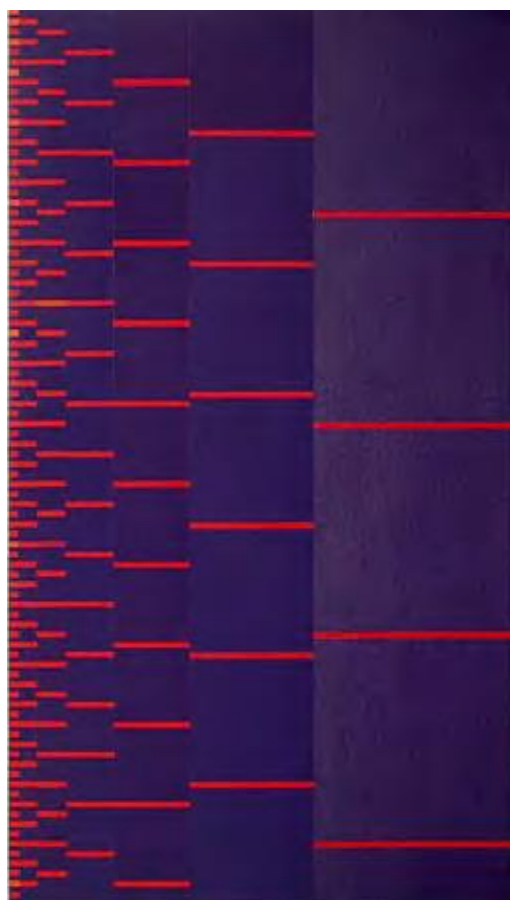
De 1998 à 2001 la série « Gradations » s'appuie aussi sur les suites arithmétiques. Ces toiles sont constituées de carrés divisés par des lignes. Chacun de ces carrés est découpé régulièrement en suivant, soit la progression arithmétique des nombres entiers, soit celle des nombres pairs ou des nombres impairs. Cette méthode donne, d'après Charles Bézie, des rythmes irréguliers aux toiles de cette série.

Dans cette composition on remarque que les carrés de la bande de gauche sont découpés en un nombre impair de bandes horizontales, de 1 à 17 en partant du bas. Les carrés de la bande du milieu sont découpés en suivant la suite des nombres entiers de 1 à 9 en partant du haut. Et enfin les carrés de la bande de droite sont découpés selon la suite des nombres pairs en partant du bas. Trois carrés ne font pas partie de ces progressions, les deux carrés barrés d'une ligne verticale dans les deux colonnes de gauche et le carré du bas de la colonne de droite qui n'est pas divisé, donc divisé par 1 qui n'est pas un nombre pair. Dans *Gradations*, le rythme est régulier à l'intérieur de chaque carré qui est divisé par des lignes équidistantes,

Charles Bézie, *Gradations*, 2002, acrylique sur toile, 100 × 30 cm.

À partir de 2003, de nouvelles périodes apparaissent, celles où Charles Bézie utilise la suite de Fibonacci, *Suite Fibonacci* de 2003 à 2007, *Fiborythms* de 2007 à 2014, *Ortholude* de 2015 à 2019. De nombreuses autres séries jalonnent l'œuvre de Charles Bézie mais nous ne parlerons ici que des périodes qui ont un lien avec les suites mathématiques. En 2003, en lisant *Mystères des chiffres*³⁰ de Marc-Alain Ouaknin il découvre l'existence de la suite de Fibonacci dont il n'avait jamais entendu parler auparavant :

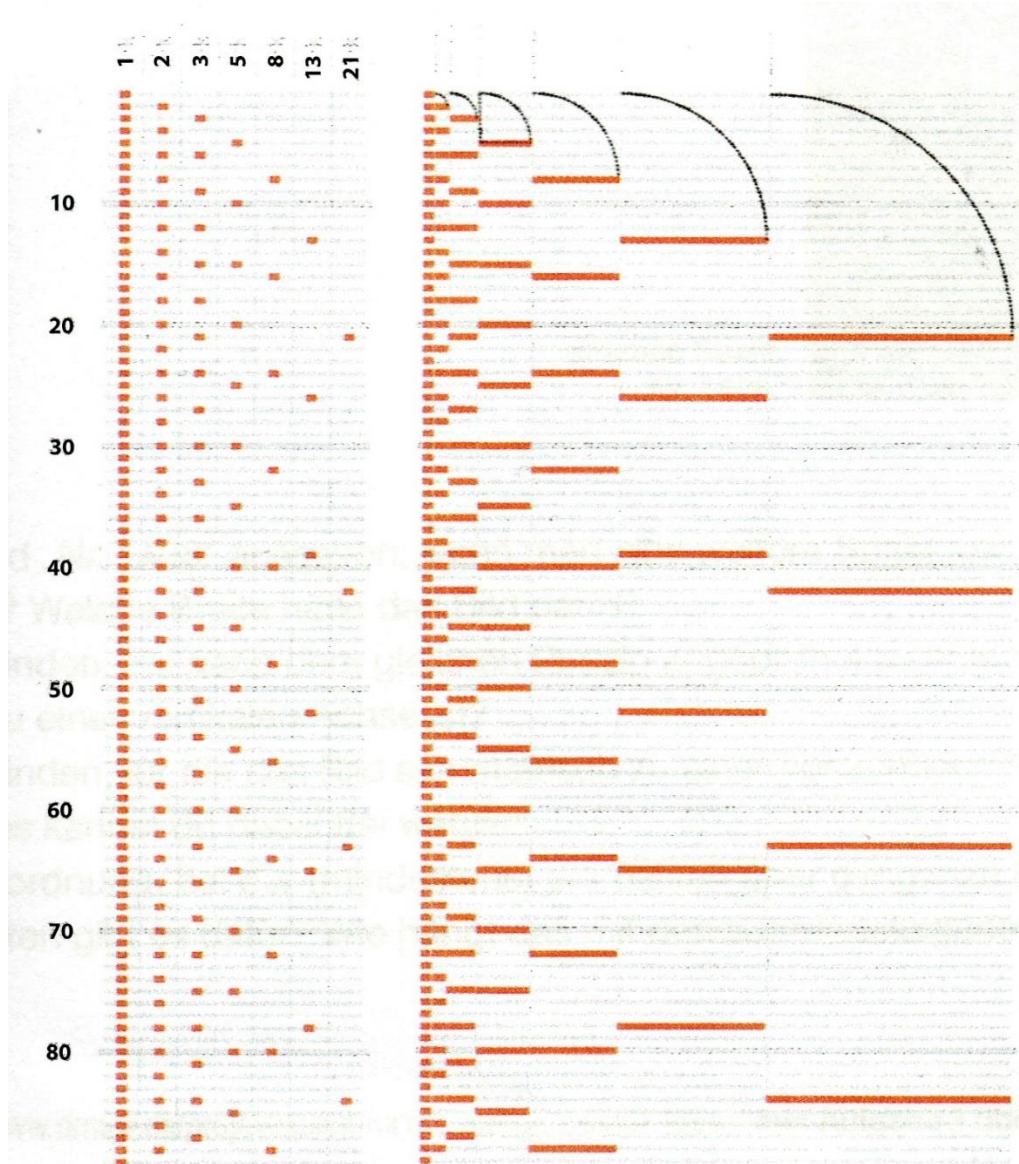
En 2003, je découvrais Fibonacci, mathématicien italien du XIIIe siècle, en lisant « Mystères des chiffres » de Marc-Alain Ouaknin, les 3 dernières périodes en sont le résultat : Suite Fibonacci, 2003 – 2007 ; Fiborythm, 2007 – 2014 et Ortholude, 2015 – 2019[...] Mon projet actuel est de continuer à travailler à partir des chiffres et aussi longtemps que cela apportera du sens à ma démarche picturale. »



Il trouve cette suite fascinante et découvre son lien avec le nombre d'or. Il décide donc de poursuivre ses recherches et de l'intégrer à ses œuvres, il aborde ainsi ses séries « Suite Fibonacci », « Fiborythm » et « Ortholude ».

Charles Bézie, *Suite Fibonacci*, N°1408, 2005, acrylique sur toile, 180 × 106 cm.

³⁰ *Mystères des chiffres*, Marc-Alain Ouaknin, Editions Assouline, 2003.



Croquis réalisé par Jan Wörlner en 2009 ³¹

En 2009, Jan Wörlner de l'université de Wursburg, a fait un travail sur la place des suites mathématiques dans l'Art Concret. A cette occasion, dans un article, *Les suites dans l'Art Concret*³², il décompose l'œuvre N°1408 de Charles Bézic et propose des graphiques qui font apparaître sa construction sous-jacente. La toile mesure 180 cm de hauteur, Charles Bézic choisit pour unité une longueur égale à 2 cm, il construit alors des colonnes dont les largeurs respectives sont 2, 4, 6, 10, 16, 26 et 42 cm, c'est-à-dire sont proportionnelles aux nombres, 1, 2, 3, 5, 13 et 21 qui sont cinq termes de la suite

³¹ Schemazeichnung zu Charles Bézic « Nr. 1408 », Jan Wörlner, 2009, www.dmuw.de

³² Folgen in der Konkreten Kunst (Les suites dans l'Art Concret), Jan Wörlner, mathematik lehren 157, 2009.

de Fibonacci. Il obtient ainsi 7 colonnes. Puis il découpe chaque colonne en carrés dont le côté est égal à la largeur de la colonne. Il sépare ses colonnes et ses carrés par des lignes colorées qui contrastent avec la couleur du fond. Il aurait pu choisir une

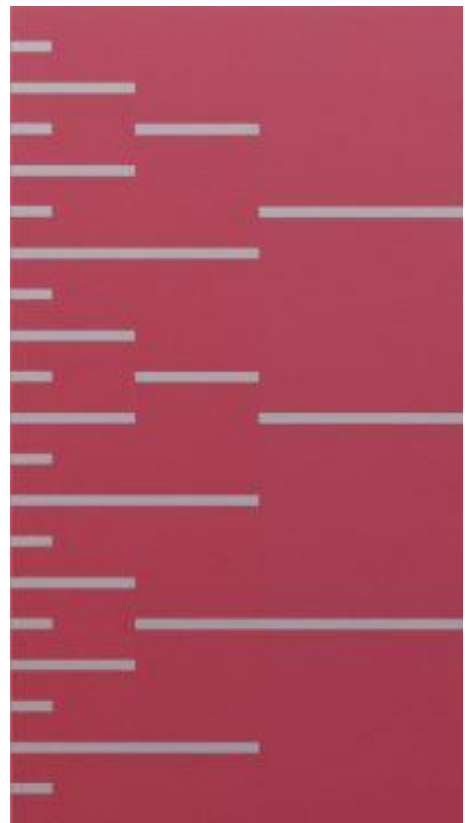
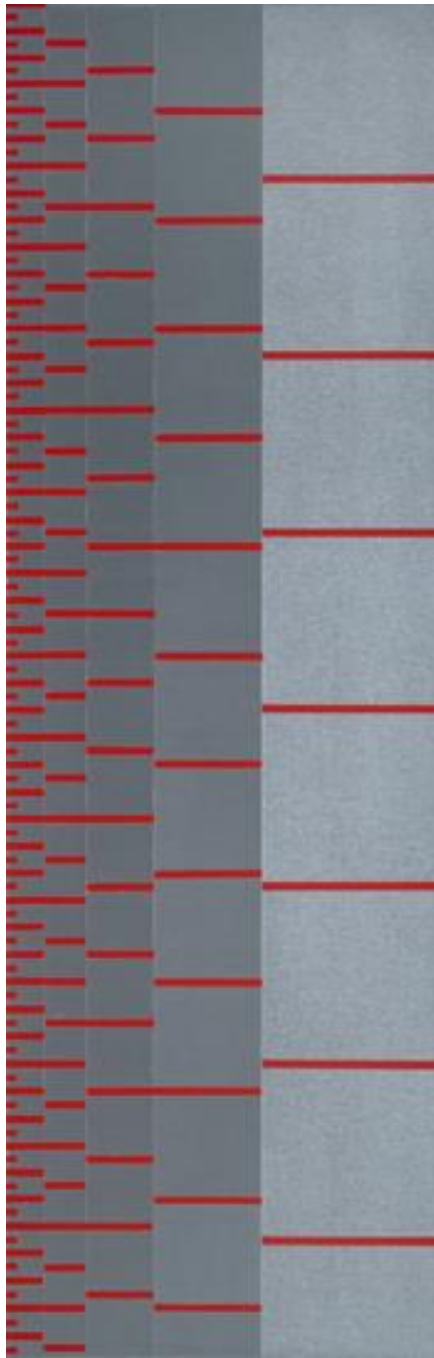


Schemazichtung zu Charles Béraud Nr. 1498. © Jan Wölter, 2009. www.dmuw.de

hauteur de 168 cm et alors il y aurait exactement quatre carrés dans la colonne de droite, ou bien une hauteur de 210 cm ce qui lui aurait permis de construire cinq carrés sur cette colonne de droite. Au lieu de cela, la hauteur de 180 cm lui a fait représenter quatre carrés et un rectangle dans la colonne de droite. Cela aurait permis à la toile de présenter un équilibre entre la colonne de gauche qui n'est constituée que de carrés et celle de droite qui contient des carrés et un rectangle.

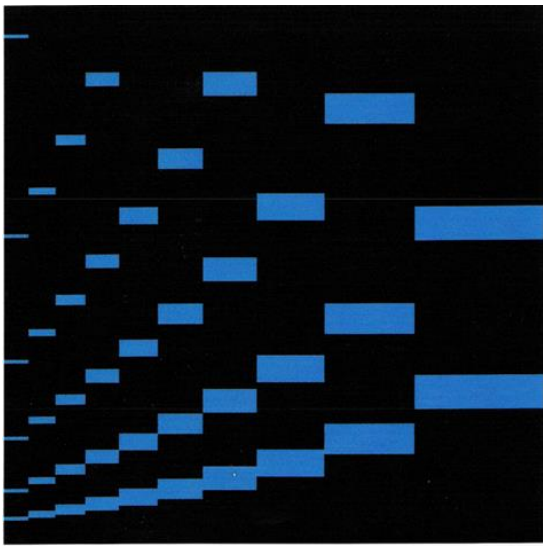
Il réalise plusieurs œuvres avec le même protocole, il fait varier le nombre de colonnes, par exemple, dans *Suite de Fibonacci* de 2003 il utilise six colonnes, donc seulement six nombres de Fibonacci. Il choisit comme unité de longueur le centimètre, sa toile a donc

pour largeur la somme des termes 1, 2, 3, 5, 8 et 13, soit 32 cm. La hauteur de la toile est ici égale à 100 cm ce qui lui a fait représenter sept carrés de côtés 13 et un rectangle de côtés 13 cm par 9 cm. Il aurait pu choisir une hauteur de 91 cm et alors il y aurait exactement sept carrés dans la colonne de droite, ou bien une hauteur de 104 cm ce qui lui aurait permis de construire huit carrés sur cette colonne de droite. Au lieu de cela la hauteur de 100 cm lui a fait représenter sept carrés et un rectangle. Dans *Suite de Fibonacci*, 2002-2004, ci-dessous, il a fait le choix de n'avoir que des carrés dans la colonne de gauche et celle de droite, il a donc choisi les dimensions de la toile qui lui permettent d'obtenir 20 carrés à gauche et 4 carrés à droite.



Charles Bézie, *Suite de Fibonacci*, 2003, acrylique sur toile, 100 × 32 cm.

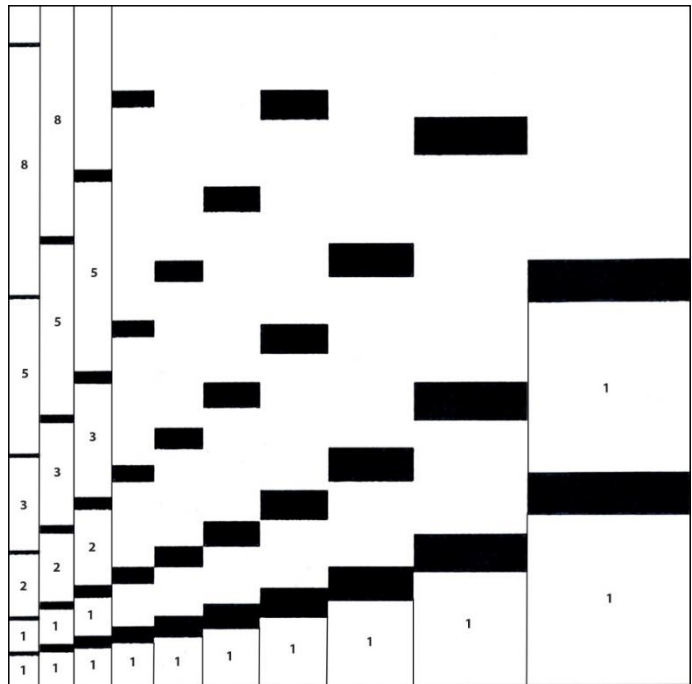
Charles Bézie, *Suite de Fibonacci*, 2002-2004, acrylique sur toile, 40 × 22 cm.

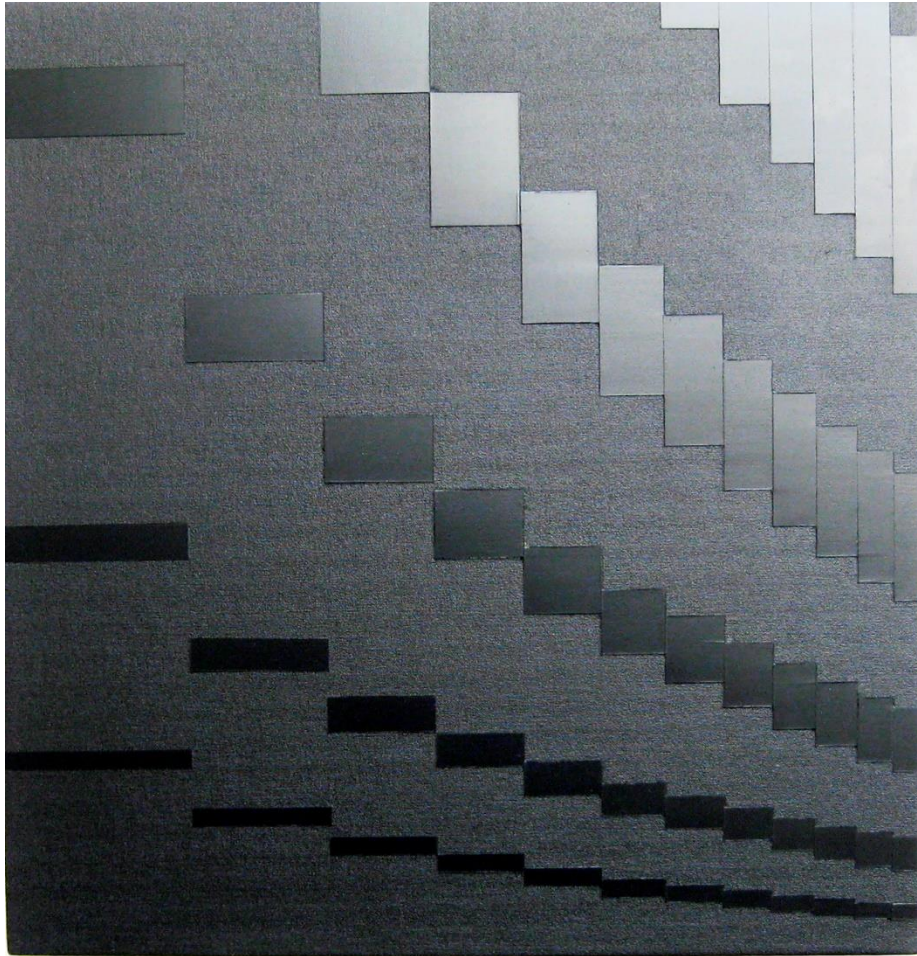


Charles Bézine, *Fiborythm*, 2009, acrylique sur toile, 80 × 80 cm.

Dans la série « Fiborythmes », Charles Bézine continue à utiliser un découpage vertical en colonnes, mais il abandonne le découpage en carrés de chaque colonne pour un découpage en rectangles. Chaque colonne est rythmée par des lignes horizontales, les espaces entre ces lignes étant proportionnels aux nombres de Fibonacci. Dans chaque colonne l'unité de base va en augmentant, ce qui donne l'impression que des courbes apparaissent.

Dans le croquis ci-dessous j'ai étudié la structure de la construction de ce tableau. La toile mesure 80 cm de largeur, Charles Bézine a construit une série de carrés dont les dimensions vont en augmentant et les a placés en bas de sa toile, le premier carré à gauche mesurant 3,5 cm et le dernier carré à droite 19cm. En décidant que le carré en bas à gauche représente le nombre 1, dans la colonne de gauche il a construit des rectangles de largeur 3,5 cm et de longueurs proportionnelles aux termes de la suite de Fibonacci. En supposant que chaque carré de base représente le nombre 1 il a réitéré le même procédé dans chaque colonne. Il a également augmenté l'épaisseur des lignes qui séparent les rectangles, il obtient ainsi un mouvement ascendant qui donne une certaine dynamique à son tableau.

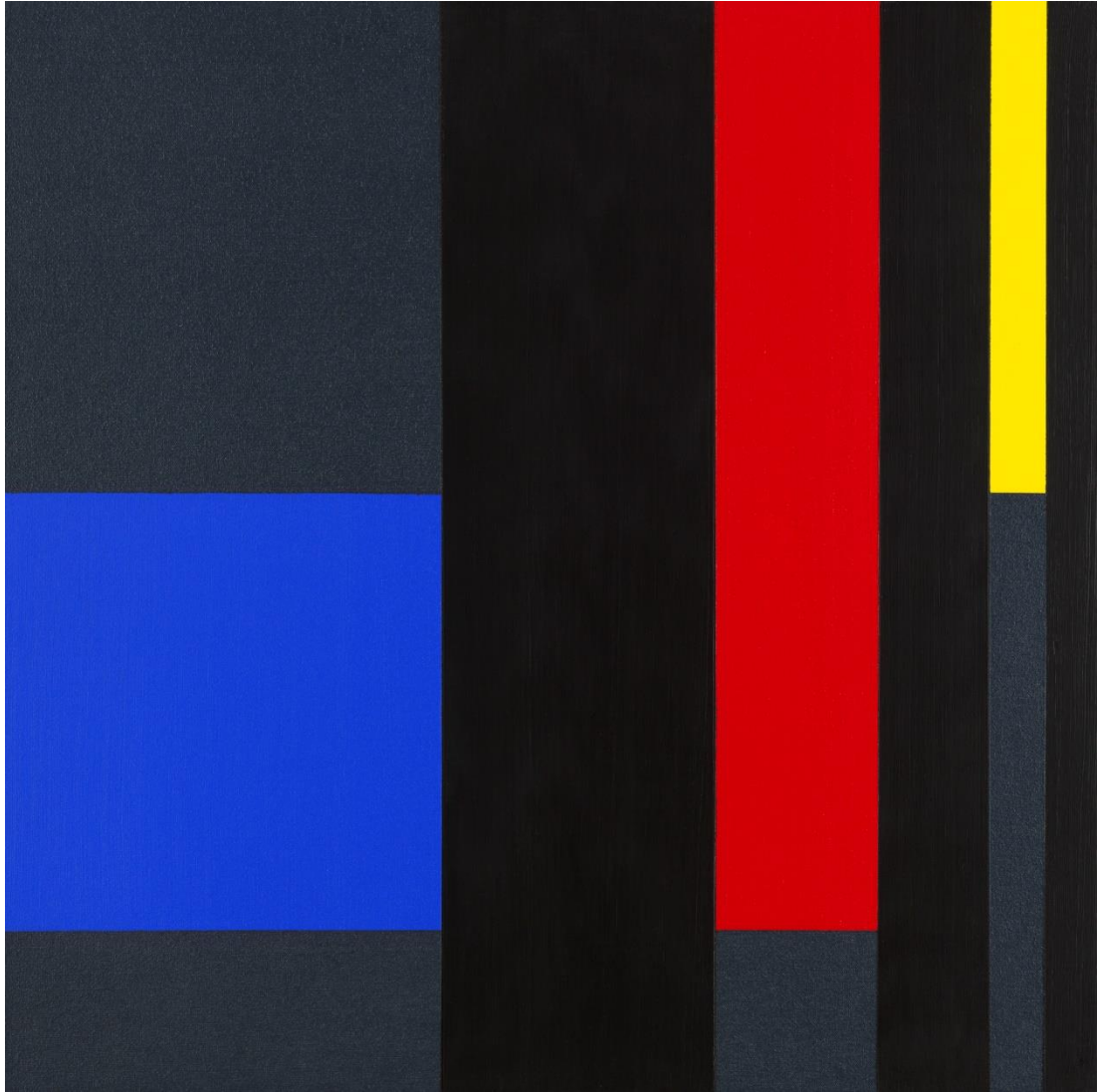




Charles Bézie, *Fiborythm, Pour saluer Pierre Soulages*, 2010, acrylique sur toile, 120 × 121 cm.

Entre 2007 et 2014 Charles Bézie produit plusieurs toiles dans sa série « Fiborythme », citons notamment celle intitulée « *Pour saluer Pierre Soulages* » où il reprend le même protocole, avec quelques variations, le nombre de colonnes est de 12 au lieu de 10, les modulations des lignes entre les rectangles sont plus importantes. Dans les toiles de Charles Bézie le rythme n'est pas seulement donné par les nombres mais aussi par des textures différentes, « *des couches de peinture plus ou moins épaisses, plus ou moins brillantes* ». Mais ce qui est intéressant dans cette toile c'est que Charles Bézie a travaillé sur les variations de texture en utilisant une seule couleur, le noir. Dans ses autres toiles les variations de texture sont associées à des couleurs différentes ce qui en diminue peut-être l'impact. Avec cette toile il pousse à l'extrême la notion de rythme qui sous-tend son travail, tant avec la modulation des formes qu'avec les variations de textures.

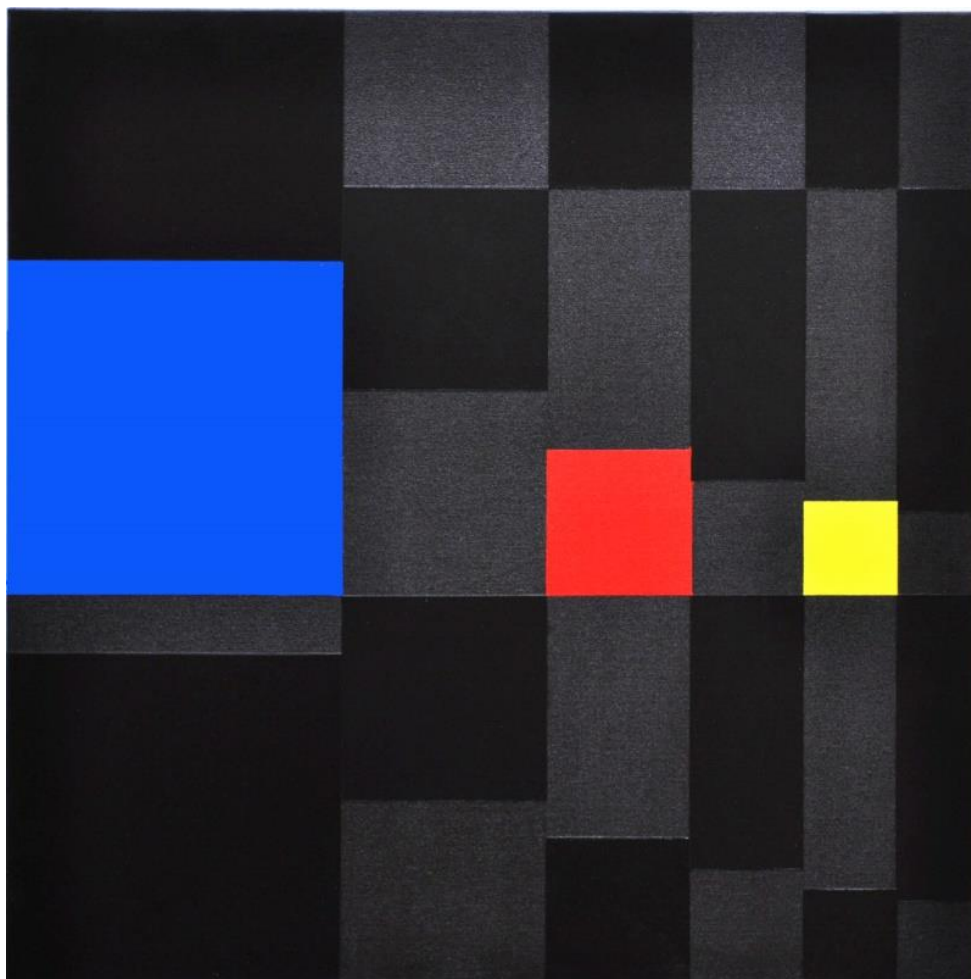
Dans sa dernière série « Ortholude » il abandonne l'introduction des courbes qui donnaient un mouvement à ses compositions et utilise essentiellement les trois couleurs primaires, bleu, jaune et rouge.



Charles Bézine, Ortholude, 2015, acrylique sur toile, 80 × 60 cm.

Dans cette série il construit encore des verticales, leurs largeurs étant proportionnelles aux nombres 1, 1, 2, 3, 5, 8. Sur chaque colonne apparaissent des carrés et des rectangles, mais il fait des choix différents d'une toile à l'autre quant à la dimension et la répartition de ces quadrilatères. Le seul protocole récurrent est que dans une colonne sur deux il y a un carré ou un rectangle coloré, en jaune en bleu ou en rouge, le reste

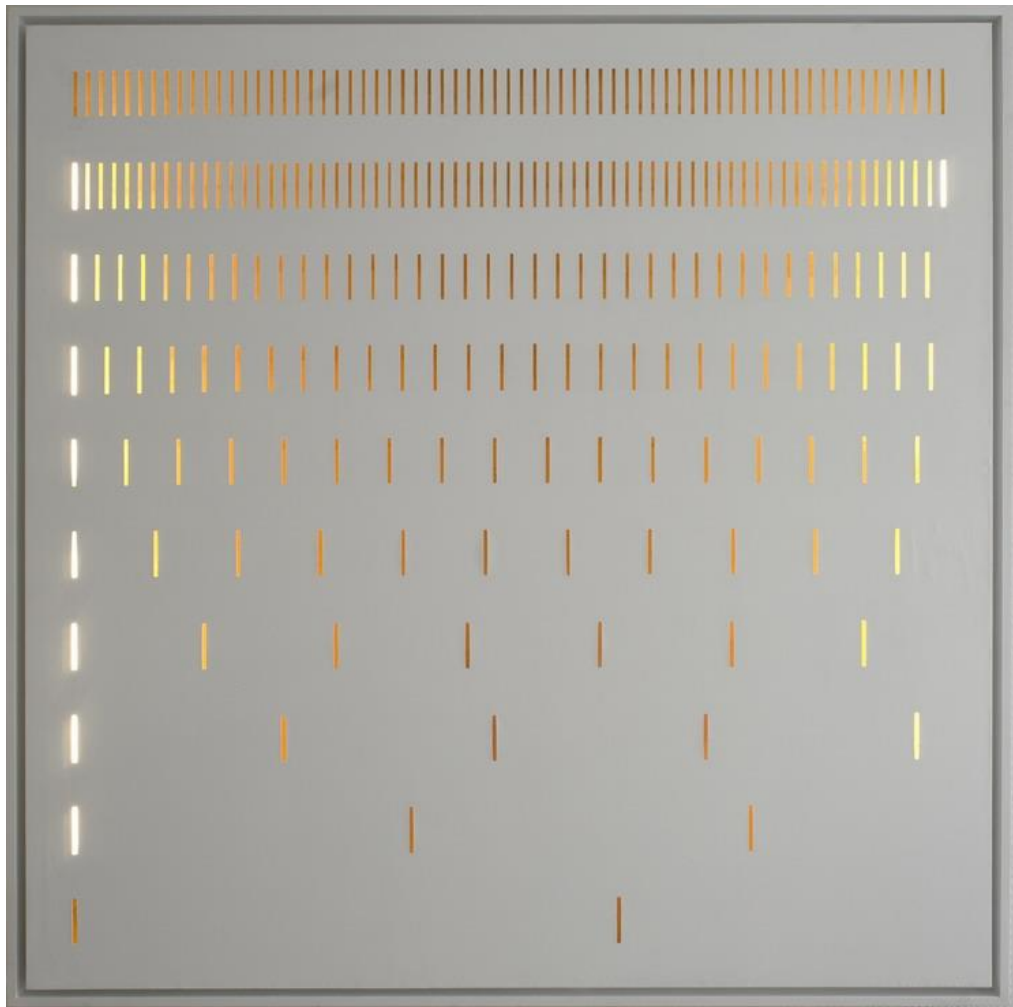
des autres rectangles étant peints en noir avec des effets de structure qui permettent de les différencier.



Charles Bézie, *Ortholude n°1612*, 2015, acrylique sur toile.

e. Philippe Leblanc

Philippe Leblanc est un artiste belge. Il a une formation d'ingénieur architecte et sa démarche artistique s'inscrit dans l'Abstraction Géométrique. Dans sa pratique plastique il utilise des outils mathématiques comme les proportions, le Nombre d'or, le nombre pi ou la suite de Fibonacci. Ce sont, bien sûr, les œuvres faisant appel à Fibonacci que nous étudierons ici. Il a d'abord créé une série baptisée « Perforations » pour représenter cette suite. Il utilise différents matériaux, soit une toile en lin peinte qu'il perce, soit une tôle d'acier perforée qu'il place devant une source lumineuse. Ces perforations sont de petits rectangles verticaux dont les espacements sont proportionnels aux nombres de Fibonacci.



Philippe Leblanc, *244 Perforations Gold*, 2010, bois, toile, acrylique, feuille d'or, éclairage LED, 150 × 150 × 7 cm.

Les deux premières lignes présentent des perforations avec une distance x , la troisième ligne avec une distance de $2x$, la quatrième ligne une distance de $5x$ et ainsi de suite avec à la dixième et dernière ligne une distance de $55x$, ce qui signifie que ces espaces ont des longueurs proportionnelles aux termes 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, et 55 qui sont les dix premiers termes de la suite de Fibonacci.

Après sa série « Perforations » Philippe Leblanc explore une nouvelle piste. Il choisit d'écrire les termes de la suite de Fibonacci en les transcrivant dans diverses écritures, celle des Mayas ou encore celle des Babyloniens. Ces civilisations n'utilisaient pas le système décimal mais, par exemple, chez les Mayas une numération en base 20.



Philippe Leblanc, *Mayanacci RYP*, 2018, bois, acier, acrylique, lumière LED, 81 × 81 cm.

Philippe Leblanc a produit une série d'œuvres intitulées *Mayanacci* basées sur l'écriture des nombres dans la civilisation Maya. Dans cette série il a fait varier les couleurs et les matériaux utilisés. Voici la description qu'il en fait :

« Une tôle d'acier cache une boîte lumineuse rétroéclairée. Les perforations correspondent aux 25 premiers termes de la suite de Fibonacci, représentés par la numération Maya dont les origines remontent au 3^{ème} siècle av. J.C.

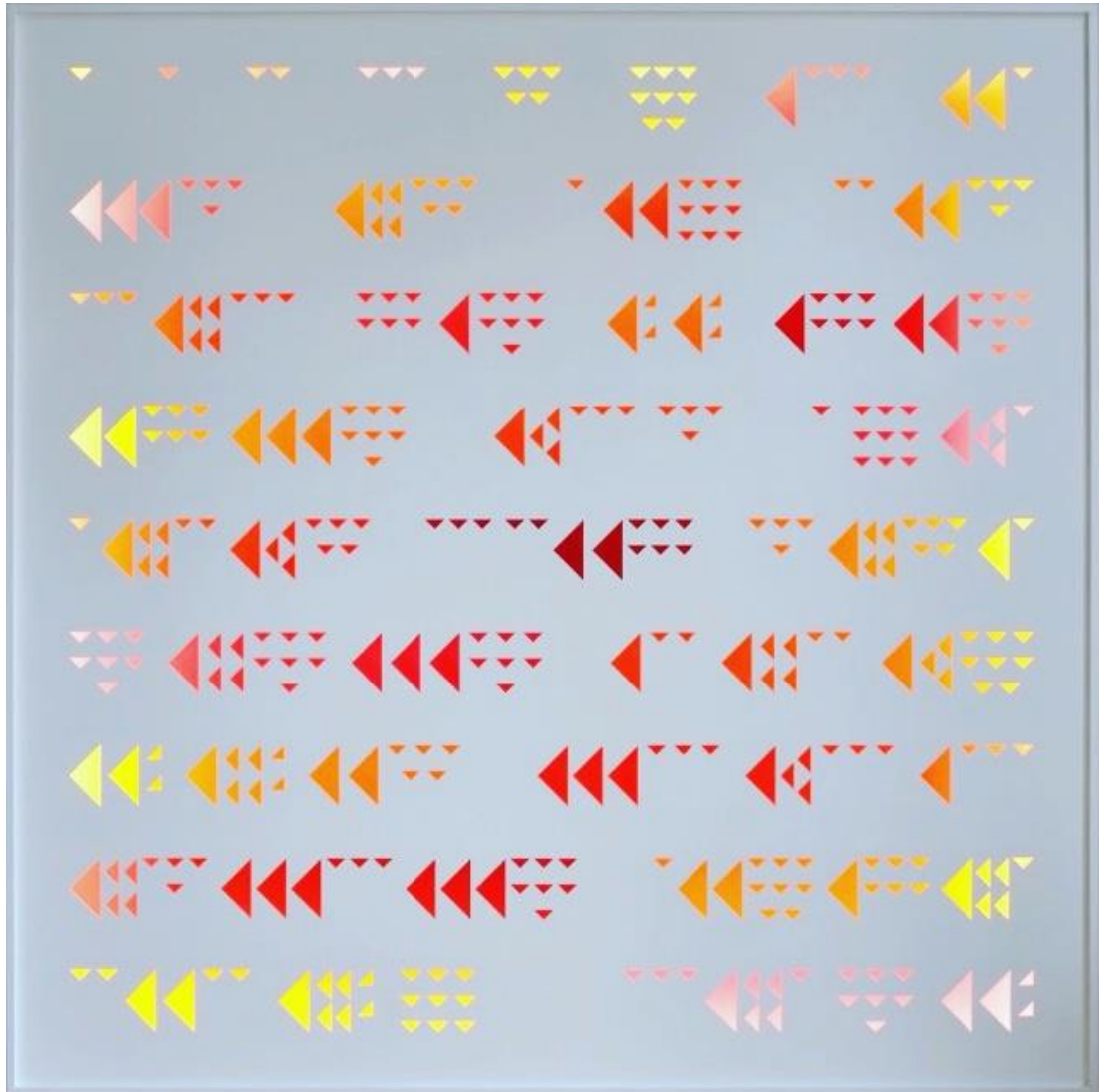
*Dans cette numération, trois symboles (le point, le trait, la coquille) suffisent à écrire tous les nombres, car la position du chiffre lui confère sa valeur. En effet, dans ce système qui utilise la base 20, les chiffres se superposent sur plusieurs niveaux, et se lisent de haut en bas. Le zéro symbolisé par une coquille, marque le vide. Les chiffres de 12 à 19 s'écrivent suivant un système répétitivo-additif à l'aide des points valant 1 et des traits valant 5. A partir de 20 (20^1), le nombre s'écrit sur 2 niveaux. A partir de 400 (20^2), il s'écrit sur 3 niveaux. A partir de 8000 (20^3), il s'écrit sur 4 niveaux, etc. Dans le cas de l'œuvre « *Mayanacci* », le 0 (normalement représenté par une coquille) n'apparaît pas, car il est absent des 25 premiers termes de la suite. »*

1	1	2	3	5
8	13	21	34	55
89	144	223	377	610
987	1597	2584	4181	6765
10946	17711	28657	44368	75025

Dans le tableau ci-contre nous voyons la liste des 25 termes représentés dans *Mayanacci*.

Philippe Leblanc a prolongé cette réflexion en utilisant le système en cours à Babylone, vers – 4000. Ce système utilisait une numération de position de base

60. Néanmoins les chiffres de 1 à 59 étaient écrits dans un système additif de base 10. Il crée ainsi sa série des « Babylonacci ».



Philippe Leblanc, *Babylonacci RYP*, 2019, bois, acier, acrylique, lumière noire, 81 × 81 × 7 cm.

Il continue à explorer la suite de Fibonacci avec d'autres séries d'œuvres, les « Fibo'clock », les « Fibosquares » ou encore les « Fibocircle ». *Fibocircle*, est construit comme une sorte de puzzle circulaire avec un disque central et neuf couronnes circulaires de largeurs identiques, divisées en nombres impairs de segments égaux. La première couronne est divisée en 3 parties, la suivante en 5,

etc ...On obtient au total, avec le disque central 100 pièces de superficie égale. Le disque central jaune représente le nombre 1. La pièce bleue de la première couronne représente aussi le nombre 1. Les deux pièces orange clair de la première couronne représentent le nombre 2 lorsqu'on les réunit. Puis sur la deuxième couronne une zone bleue formée de trois pièces représente le nombre 3. Ensuite une zone orange foncé constituée de deux pièces sur la deuxième couronne et de trois pièces sur la troisième couronne représente le nombre 5. Et ainsi de suite jusqu'à la zone rouge foncé qui représente le nombre 34.



Philippe Leblanc, *Fibocircle BYR*, 2015, bois, plexiglas, acrylique, Ø 85 cm.

Philippe Leblanc dit : « *la découverte de l'Op Art, de l'art cinétique et de la géométrie abstraite des années 60/70, a eu un effet décisif sur mon orientation artistique.* ». La suite de Fibonacci lui a permis de mettre en place un protocole pour réaliser des œuvres qui relèvent de l'Abstraction Géométrique.

f. Ivan Sozenko



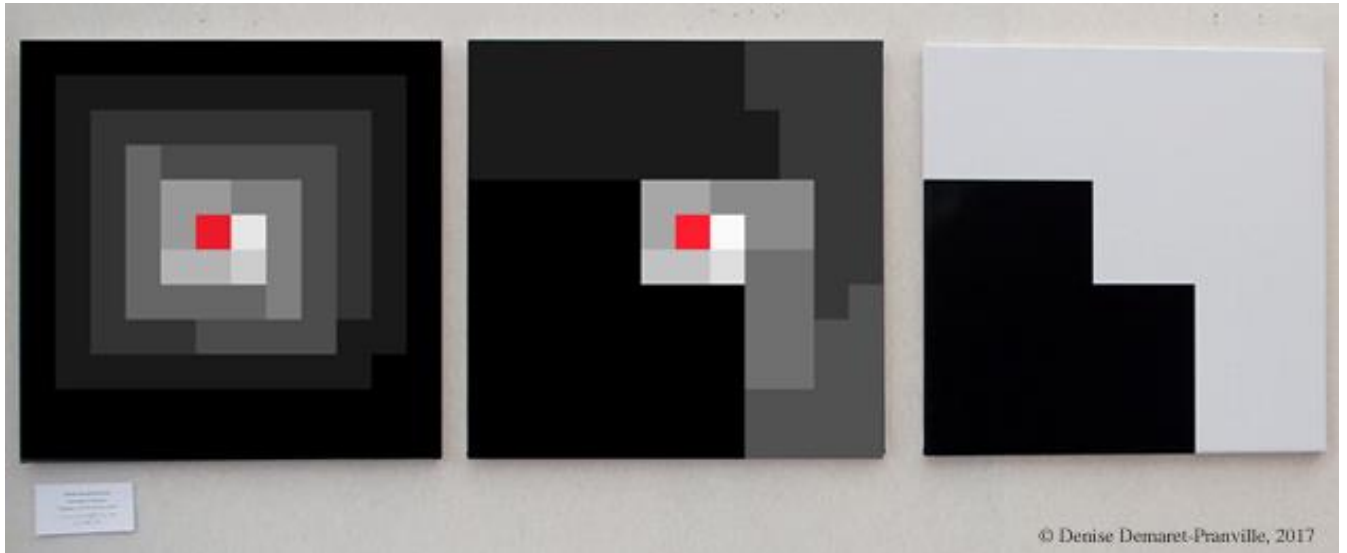
Ivan Sizonenko, *ADN de Fibonacci*, 2009, 120 × 120 cm, polyptique.

Ivan Sizonenko est un artiste qui a une formation d'ingénieur. Voici comment il décrit son travail :

« Comment rendre la musique picturale ou la peinture musicale. Une musique de rythmes et de notes, une peinture de formes et de couleurs. Les peintures sérielles sont le résultat de règles picturales, géométriques et arithmétiques construites sur le nombre d'or et de combinaisons et de permutations de couleurs basées sur la suite de Fibonacci »

g. Analyse du travail personnel sur la suite de Fibonacci

Dans mon travail personnel j'ai utilisé la suite de Fibonacci. Ses nombreuses propriétés permettent de l'exploiter de multiples façons. J'ai choisi le parti pris d'une démarche géométrique où les nombres sont représentés par des aires.



Denise Demaret-Pranville, *Hommage à Fibonacci*, 2017, tryptique, digigraphie.

Dans le tryptique, *Hommage à Fibonacci*, sur la toile de gauche, le premier terme de la suite de Fibonacci est le carré blanc, le deuxième le carré gris clair, juste en dessous. Les termes suivants sont de plus en plus foncés et s'enroulent dans le sens des aiguilles d'une montre. Le tout tient dans un carré de côté 12 et illustre l'égalité suivante :

$$144 = 1 + (1 + 1 + 2 + 3 + 5 + 8 + 13 + 21 + 34 + 55),$$

c'est-à-dire que le douzième terme u_{12} est égal à la somme des dix premiers termes augmentée de 1, ce qui correspond à la formule générale :

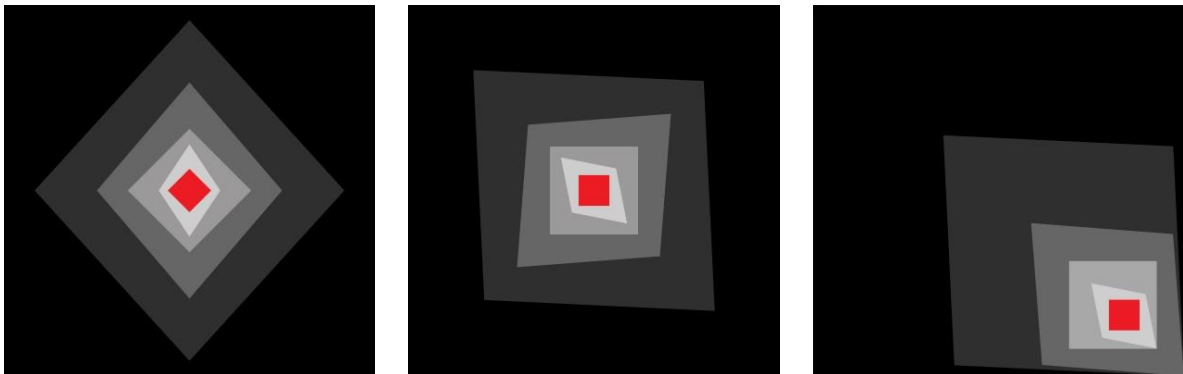
$u_n = 1 + u_1 + u_2 + \dots + u_{n-2}$, qui est vraie pour tout entier naturel n . Le carré rouge représente l'unité de base ainsi que ce nombre 1 qu'il faut rajouter à la somme des dix premiers termes pour obtenir le douzième terme.

La deuxième toile illustre la même propriété mais au lieu d'avoir représenté chaque terme par une zone qui s'enroule autour du centre de la toile j'ai choisi des parties plus compactes du plan ayant les mêmes surfaces.

La troisième toile illustre l'égalité $144 = 55 + 89$, soit la définition de la suite de Fibonacci : $u_n = u_{n-1} + u_{n-2}$.

J'ai choisi de travailler avec le douzième terme de la suite qui est égal à 144 parce que c'est le seul terme égal à un carré parfait excepté les deux premiers termes égaux à 1, ce qui me permet d'utiliser des toiles carrées de côté douze unités. C'est donc un critère plastique qui a dicté mon choix dans la représentation de termes de la suite de Fibonacci.

Dans mon travail plastique je ne recherche pas l'illustration de théories mathématiques mais j'utilise plutôt des objets ou des propriétés mathématiques pour en faire des sujets plastiques. J'obtiens ainsi une abstraction construite autour des mathématiques. C'est pourquoi j'ai cherché à rendre le moins visible possible la construction de mes œuvres.

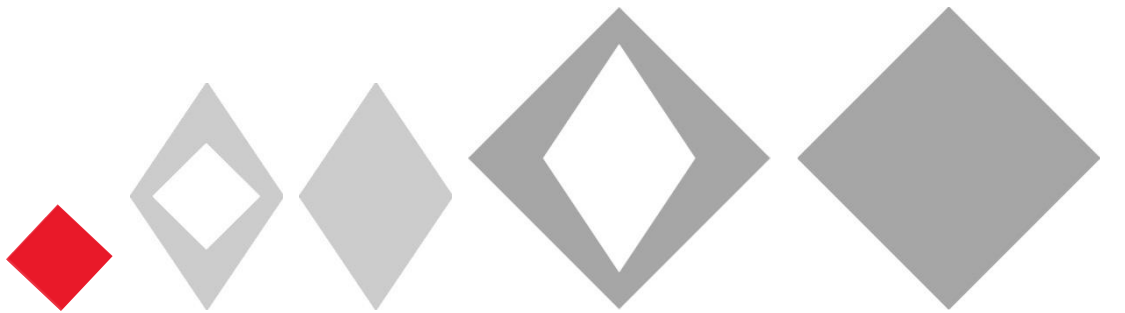


Denise Demaret-Pranville, *Fibonacci 1*, *Fibonacci 2*, *Fibonacci 3*, 2018, digigraphie.

En 2018 j'ai travaillé sur une série de compositions où l'allusion à la suite de Fibonacci est de moins en moins évidente au premier regard. Le carré rouge représente les deux premiers termes égaux à 1, ils sont donc superposés. La surface totale du premier losange est égale à 3 et c'est la zone restante dans ce losange, lorsqu'on retire le carré rouge, qui a une surface égale à 2. Et ainsi de suite pour tous les autres losanges emboîtés les uns dans les autres. J'ai choisi ces losanges de telle sorte qu'ils soient faciles à construire à partir de nombres

entiers, par exemple le terme 21 est égal à la moitié de 42 c'est-à-dire $\frac{6 \times 7}{2}$,
 donc il se représente par un losange dont les deux diagonales sont égales à 6 et 7.

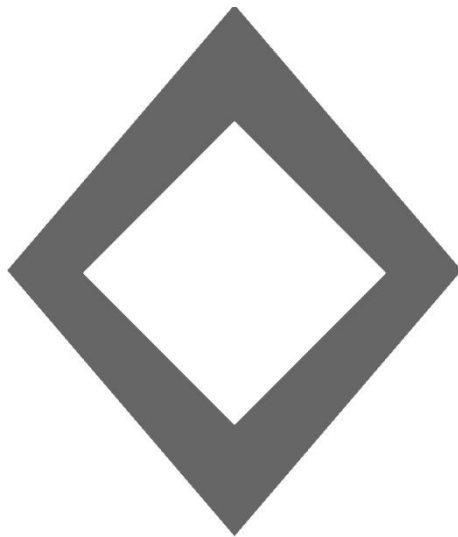
Formes utilisées pour représenter les termes de la suite :



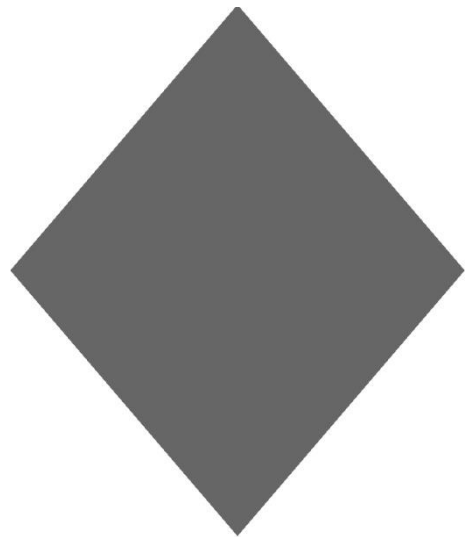
$$1 \quad 2 = 3 - 1 \quad 3 = \frac{6}{2} = \frac{2 \times 3}{2}$$

$$5 = 8 - 3$$

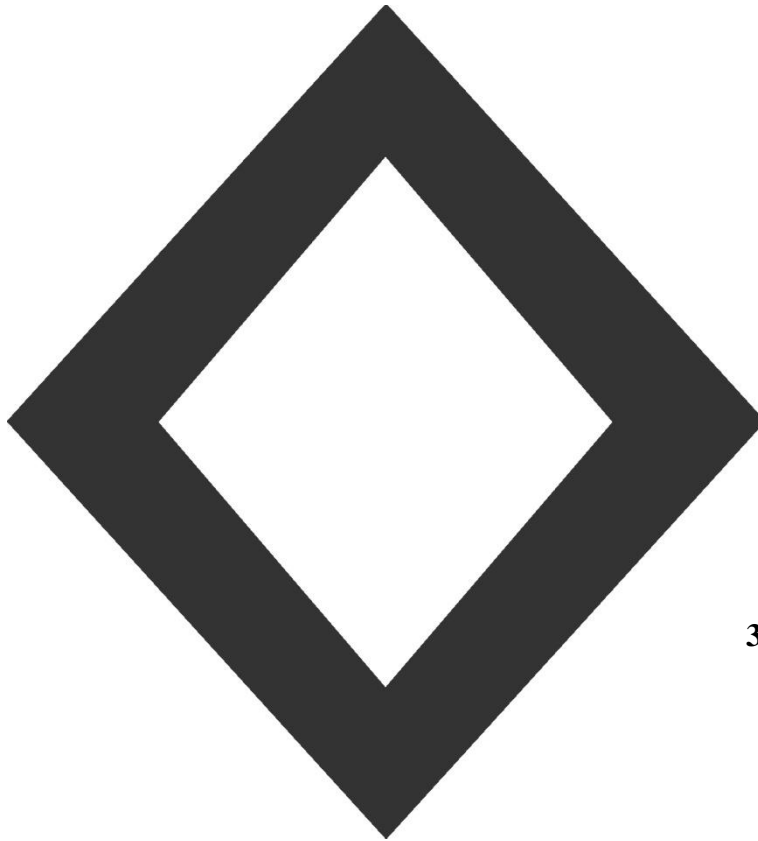
$$8 = \frac{16}{2} = \frac{4 \times 4}{2}$$



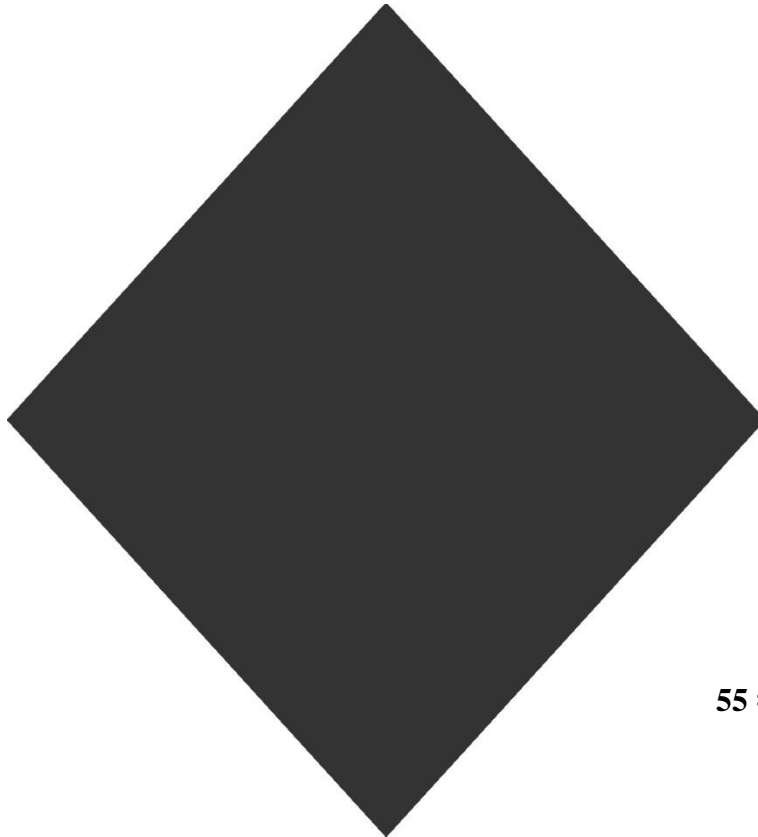
$$13 = 21 - 8$$



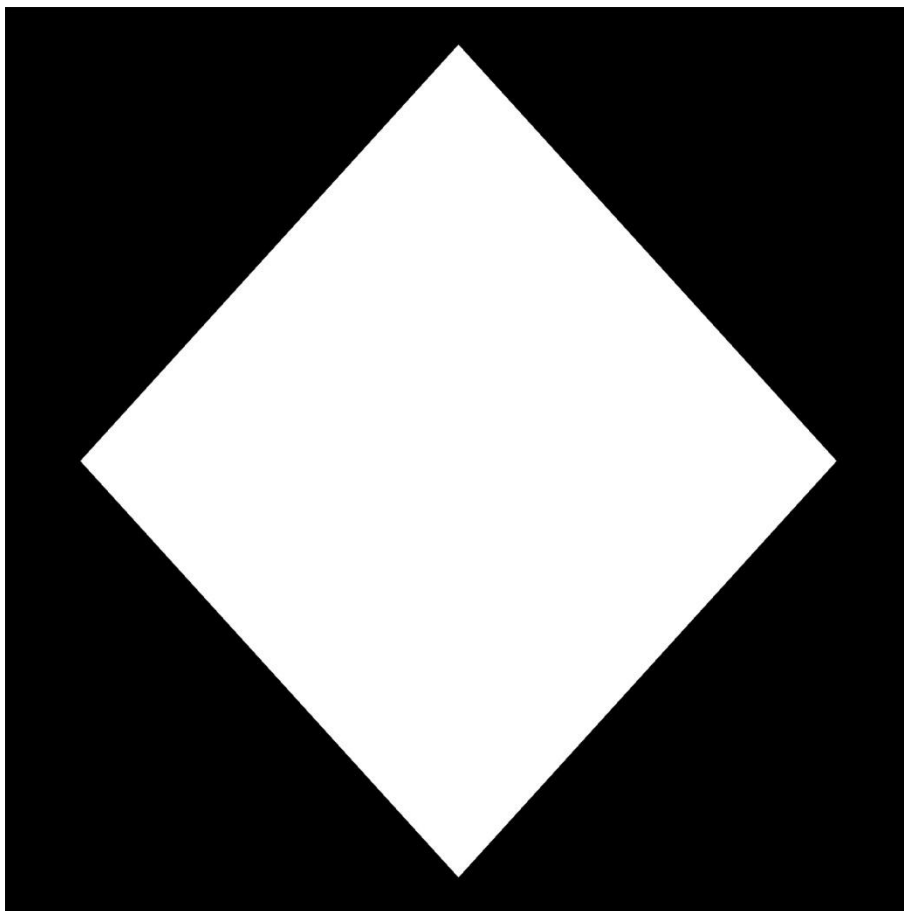
$$21 = \frac{42}{2} = \frac{6 \times 7}{2}$$



$$34 = 55$$



$$55 = \frac{10 \times 11}{2}$$

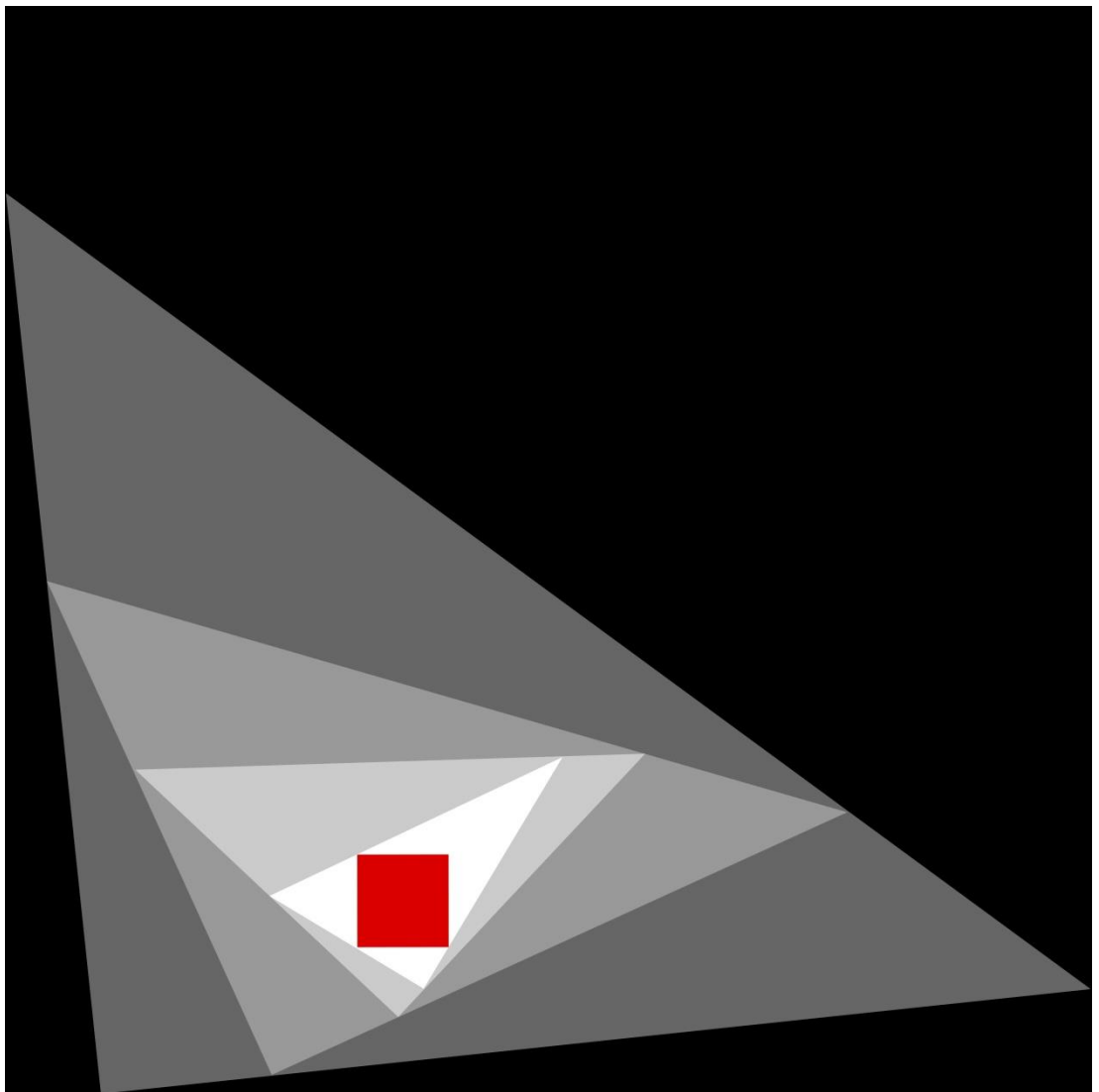


$$89 = 144 - 55$$

Ensuite le carré complet représente le terme 144 qui est égal à 12×12 . Cette méthode de construction représente un protocole très rigoureux mais qui n'est pas nécessairement visible par le spectateur. Alors que dans le tryptique de 2017 un spectateur averti pouvait beaucoup plus rapidement retrouver le protocole utilisé.

En 2019 j'ai expérimenté un autre mode de construction qui, cette fois, utilisait des triangles rectangles. J'ai toutefois conservé le carré rouge de base pour représenter le terme 1. Les triangles successifs sont inscrits les uns dans les autres et, comme précédemment un terme sur deux est obtenu par la différence des aires de deux triangles consécutifs, les autres termes étant égaux à l'aire de chaque triangle. Cette composition me permettait de représenter les douze premiers termes. Néanmoins je me suis heurtée à une difficulté. J'ai fait mes

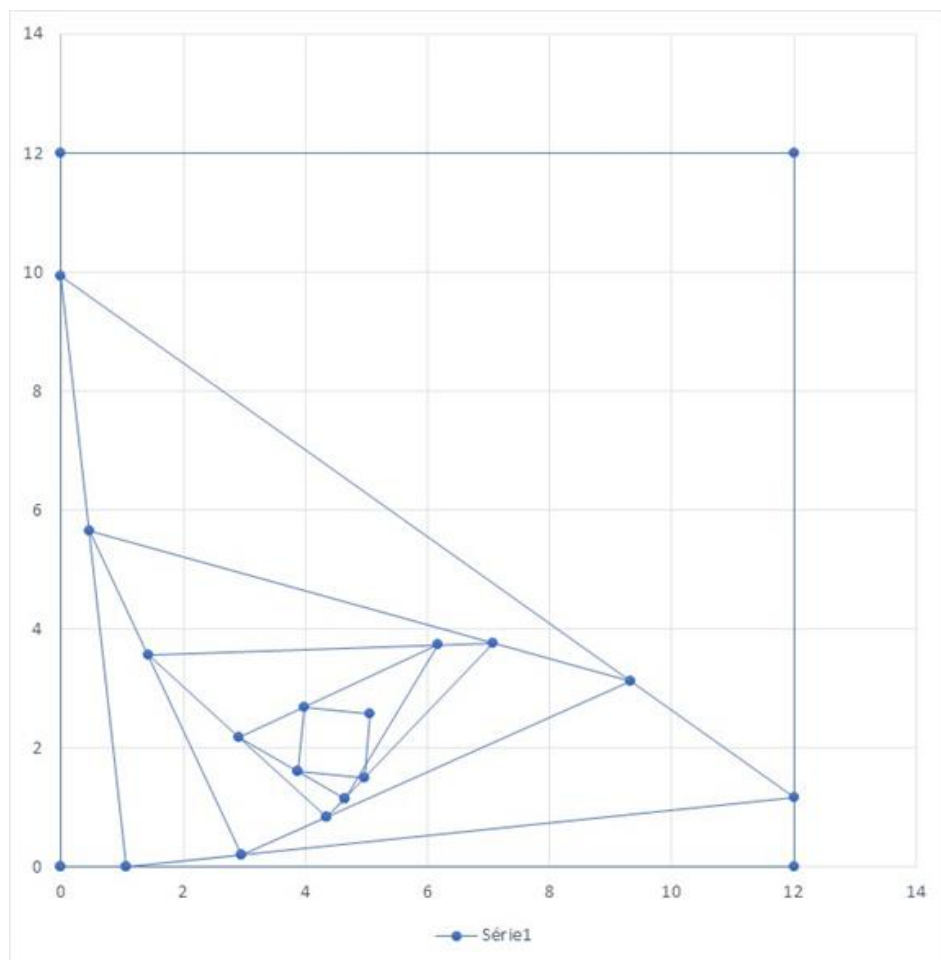
constructions en utilisant le logiciel Illustrator qui permet de construire des formes géométriques vectorisées, donc avec des dimensions exactes. J'ai ensuite inscrit chaque triangle dans le triangle suivant avec le logiciel Photoshop qui permet une grande précision grâce au système de magnétisme qui permet de vérifier que deux lignes ont bien un point commun. Avec cette construction il semblait que le carré rouge avait ses côtés parallèles aux côtés de la figure totale ce que je trouvais intéressant sur le plan plastique, le petit carré étant ainsi homothétique du grand carré.



Denise Demaret-Pranville, *Fibonacci*, 2019, digigraphie.

Lorsque j'ai exposé cette œuvre dans un salon mathématique, Herbert Groscolt, mathématicien, m'a fait remarquer que peut-être le carré rouge n'existait pas et qu'il était impossible d'inscrire ce carré dans le triangle de côtés 2 et 3. Il m'a proposé une démonstration utilisant excel et m'a envoyé le dessin qu'il a obtenu avec le commentaire suivant :

« En refaisant des calculs de mon côté, voici un dessin que j'obtiens. Il n'est pas joli, d'autant plus que j'emploi Excel. Le plus important à mon avis est que vous critiquiez (éventuellement) la manière d'ont j'ai obtenu le petit carré. Son côté de vaut pas 1, car cela est impossible, il est légèrement plus grand, avec un côté de longueur environ égal à 1,0916 ».³³

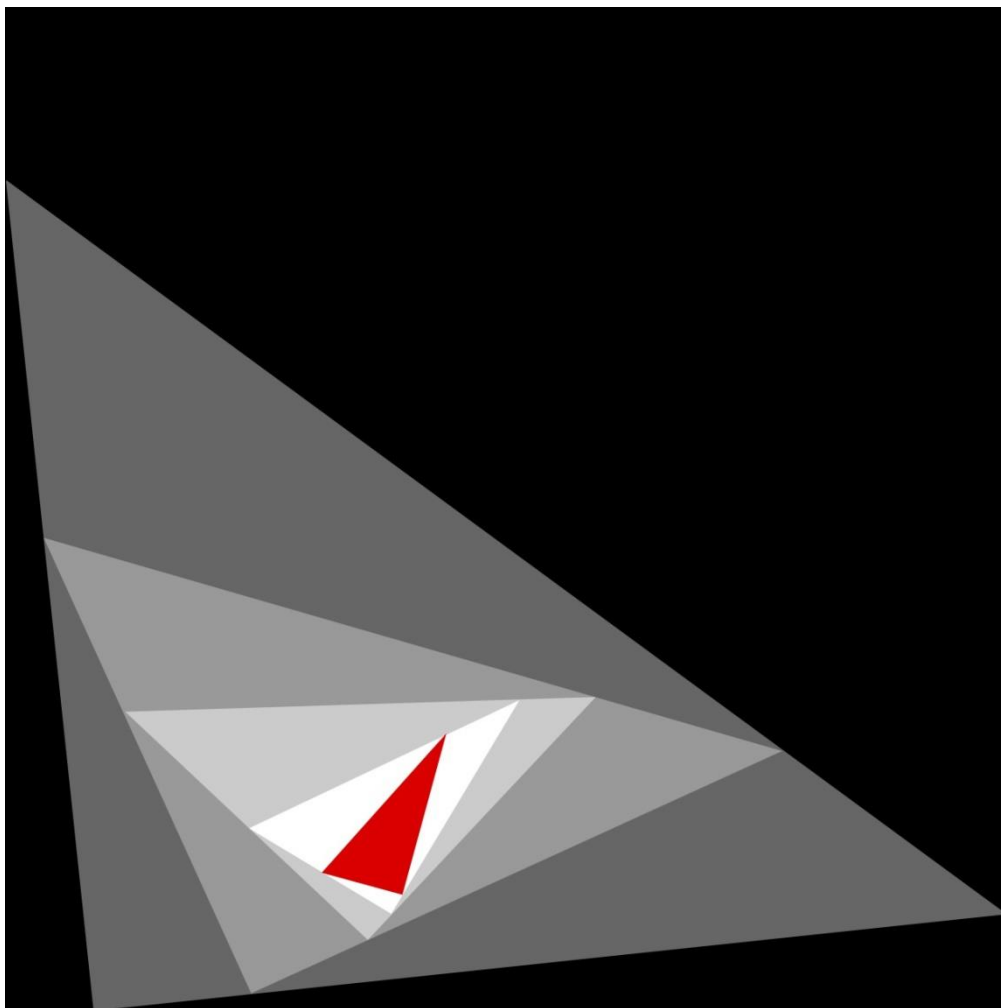


Herbert Groscolt, dessin obtenu avec Excel, 2019.

³³ Herbert Groscolt, normalien, docteur et agrégé en mathématiques.

Je n'ai refait aucune démonstration mathématique de cette affirmation car elle implique de très longs et très fastidieux calculs. Mais cette « petite erreur », qui est plutôt une approximation, permet de poser des questions intéressantes. L'objet plastique présenté doit-il être construit avec une rigueur mathématique sans aucune faille ?

Il est arrivé que certains artistes se soient un peu arrangés avec la vérité mathématique, leur œuvre en est-elle moins pertinente ? L'idée d'utiliser les mathématiques correspond à un besoin de structurer sa pensée créatrice, d'établir un protocole qui met une certaine distance avec la réalité, l'objectif n'étant pas d'illustrer une théorie mathématique. A titre personnel, ma formation en mathématiques me pousse à être précise et rigoureuse, c'est pourquoi, j'ai repensé cette dernière œuvre en remplaçant le carré rouge par un triangle rectangle ayant la même aire égale à 1. Ce triangle s'inscrit parfaitement, d'un point de vue mathématique, dans le triangle suivant. On peut dire que la composition obtenue a plus de cohérence visuelle dans la mesure où l'on obtient une succession de triangles rectangles jusqu'au plus petit.



Denise Demaret-Pranville, *Fibonacci*, 2020, digigraphie.

En 2021, j'ai réalisé une nouvelle composition à partir de la suite de Fibonacci, *Hommage à Fibonacci*. Ce tableau est constitué de colonnes dont la largeur est proportionnelle aux nombres de Fibonacci. Chaque colonne est ensuite découpée à partir du bas selon la progression des termes de la suite de Fibonacci. Sur chaque colonne le nombre unité est représenté par la hauteur du premier terme en bas, cette hauteur allant en augmentant légèrement lorsqu'on passe d'une colonne à la suivante de gauche à droite. Cette augmentation est très faible, de façon à ce que les rectangles qui représentent les mêmes termes puissent avoir un segment en commun, ce qui permet une continuité visuelle. Par exemple la zone rouge est la réunion de tous les rectangles qui représentent le terme 8, que ce soit horizontalement ou verticalement.



Denise Demaret-Pranville, *Hommage à Fibonacci*, 2021, digigraphie.

Je poursuis mes recherches sur d'autres manières d'intégrer la suite de Fibonacci à mon travail. Récemment j'ai été sollicitée pour participer à des expositions collectives à la galerie Abstract Project, rue des Immeubles Industriels à Paris sur le thème « Arts Numériques ». J'ai donc commencé à travailler avec le logiciel Processing et j'ai écrit de petits programmes qui m'ont permis de transcrire en langage numérique une pratique de dessins abstraits que je réalise depuis plusieurs années. Je voudrais donc appliquer cette recherche numérique à la suite de Fibonacci. Actuellement cette démarche est au stade de la recherche.

2. La suite de Syracuse

Olga Kisseleva est une artiste russe dont les propositions artistiques s'appuient souvent sur les nouvelles innovations technologiques dans le cadre d'une recherche Art et sciences. Son travail s'inscrit dans le mouvement de l'Art Numérique.

Son œuvre, « l'Arbre de Syracuse », est une représentation de l'algorithme de la suite de Syracuse. Cette suite est très intéressante car elle défie la communauté des chercheurs en mathématiques qui n'ont pas encore pu prouver que cette suite ne possède qu'un nombre fini de termes et aboutit toujours au nombre 1, quelle que soit la valeur choisie pour le premier terme, elle fait donc partie des grandes conjectures encore non démontrées. Pour construire cette suite on choisit un nombre entier positif quelconque, s'il est pair on le divise par 2, s'il est impair on le multiplie par 3 et on ajoute 1, puis on répète ce processus pour tous les termes obtenus. On constate que, quel que soit le premier terme choisi, au bout d'un temps plus ou moins long on finit toujours par obtenir le nombre 1 et ensuite la séquence 1, 4, 2 se répète à l'infini. Ce résultat n'est pas encore démontré, c'est-à-dire que les mathématiciens ont la quasi-certitude que la suite aboutit toujours à cette répétition, mais rien ne prouve que la suite aboutit toujours au nombre 1 et que le cycle 4, 2, 1 est le seul. Si cette conjecture est vraie, cette suite n'a donc pas de limite, ni finie, ni infinie, mais devient périodique au bout d'un certain temps. Certains mathématiciens se posent la question de l'indécidabilité de cette conjecture c'est-à-dire l'impossibilité de démontrer si elle est vraie ou non à partir de l'axiomatique traditionnelle. Le mathématicien TERENCE Tao a récemment fait avancer la démonstration de cette conjecture avec une méthode probabiliste.

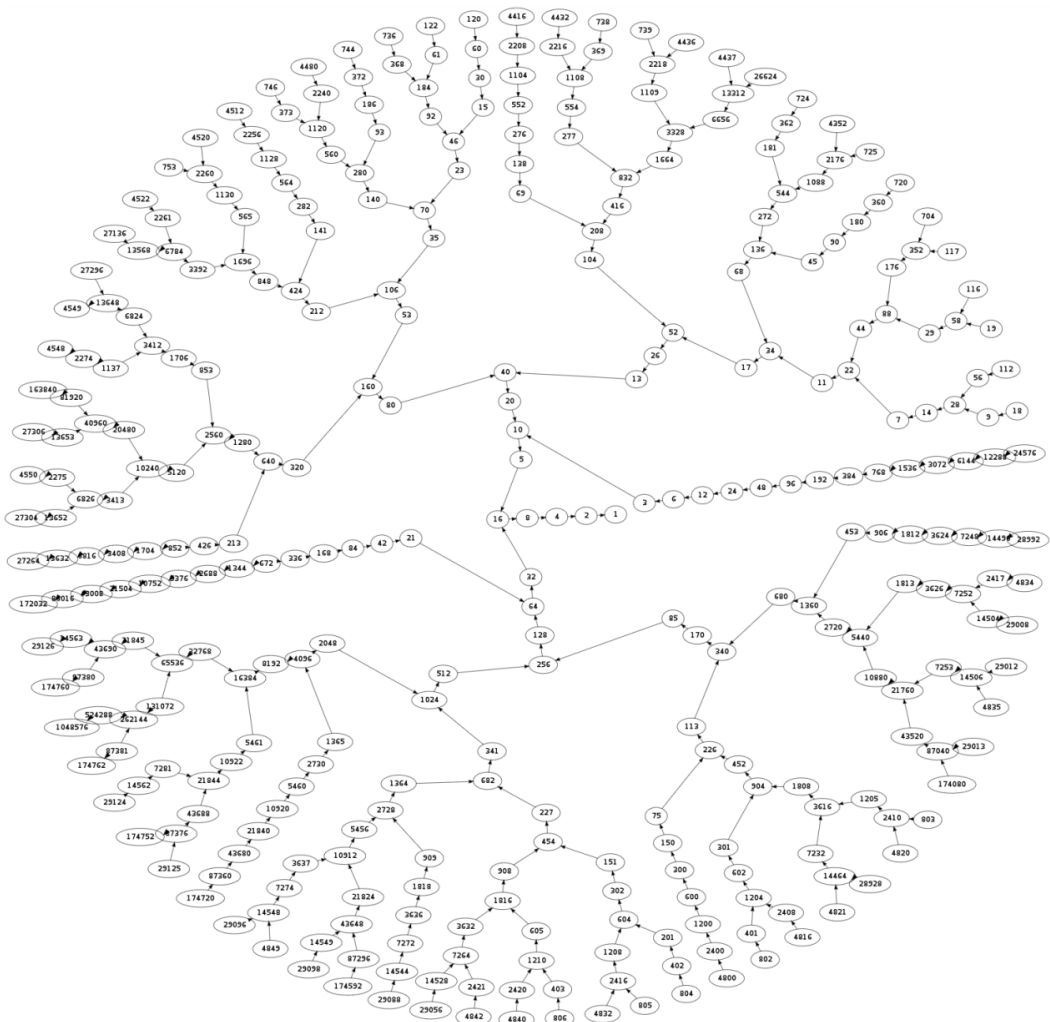
Ces suites de Syracuse sont parfois définies par leur « temps de vol », c'est-à-dire le nombre d'étapes avant d'arriver à 1 et leur altitude maximale, soit le plus grand nombre atteint par la suite.

Par exemple, si le premier terme est égal à 42 on obtient la suite 42, 21, 64, 32, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, ..., son temps de vol est 8 et son altitude maximale est 64.

Si le premier terme est égal à 38 on obtient 38, 19, 58, 29, 88, 44, 22, 11, 34, 17, 52, 26, 13, 40, 20, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, ... temps de vol 21 et altitude

maximale 88. Un arbre représente le comportement de ces suites de Syracuse, c'est cet arbre que l'artiste Olga Kisseleva a choisi pour représenter la suite de Syracuse. Cet arbre illustre le chemin parcouru par les termes de plusieurs de ces suites, ces trajets se recoupent pour certaines d'entre elles. Ce qui a intéressé l'artiste dans cette suite c'est ce retour systématique vers le nombre 1, vers l'unité. Elle dit :

Dans la culture occidentale Un symbolise notamment « l'entier », « l'intact », « l'absolu ». L'algorithme de la Suite de Syracuse peut être représenté par un arbre, dont la racine est 1.³⁴



Arbre représentant le comportement de plusieurs suites de Syracuse.

³⁴ L'Arbre de Syracuse, proposition de Olga Kisseleva, 7 mai 2012.

Cette œuvre a été créée pour être installée dans le lycée du Pays de Retz à Pornic (dans le département de la Loire-Atlantique) dans le cadre du 1 % artistique.



Olga Kisseleva, *Arbre de Syracuse*, œuvre *in situ* au lycée de Pornic.

Des lumières LEDs représentent chaque nombre, cette installation est visible de l'extérieur de l'établissement au travers d'une vitre. Les LEDs sont de trois couleurs, blanc froid, blanc chaud et ambre. La couleur de l'œuvre et l'intensité de l'éclairage varient en fonction de l'emploi du temps du collège. Ces changements sont programmés grâce à la synchronisation de l'installation avec l'horloge qui gère les différents temps du lycée comme l'enseignement ou les récréations.

3. Les suites de Dudley Langford

Gerhard Hotter est un artiste associé au mouvement de l'Art Construit. Il utilise les mathématiques comme support de sa pratique, il dit :

Depuis plus de 30 ans, je fais des recherches sur les potentialités picturales et poétiques des structures mathématiques. Les mathématiques sont une partie fondamentale de notre vie. [...] L'utilisation de formes et de motifs géométriques dans mon travail semble une conséquence logique de mon intérêt pour les systèmes mathématiques. Et ces formes et modèles affichent la beauté particulière des mathématiques

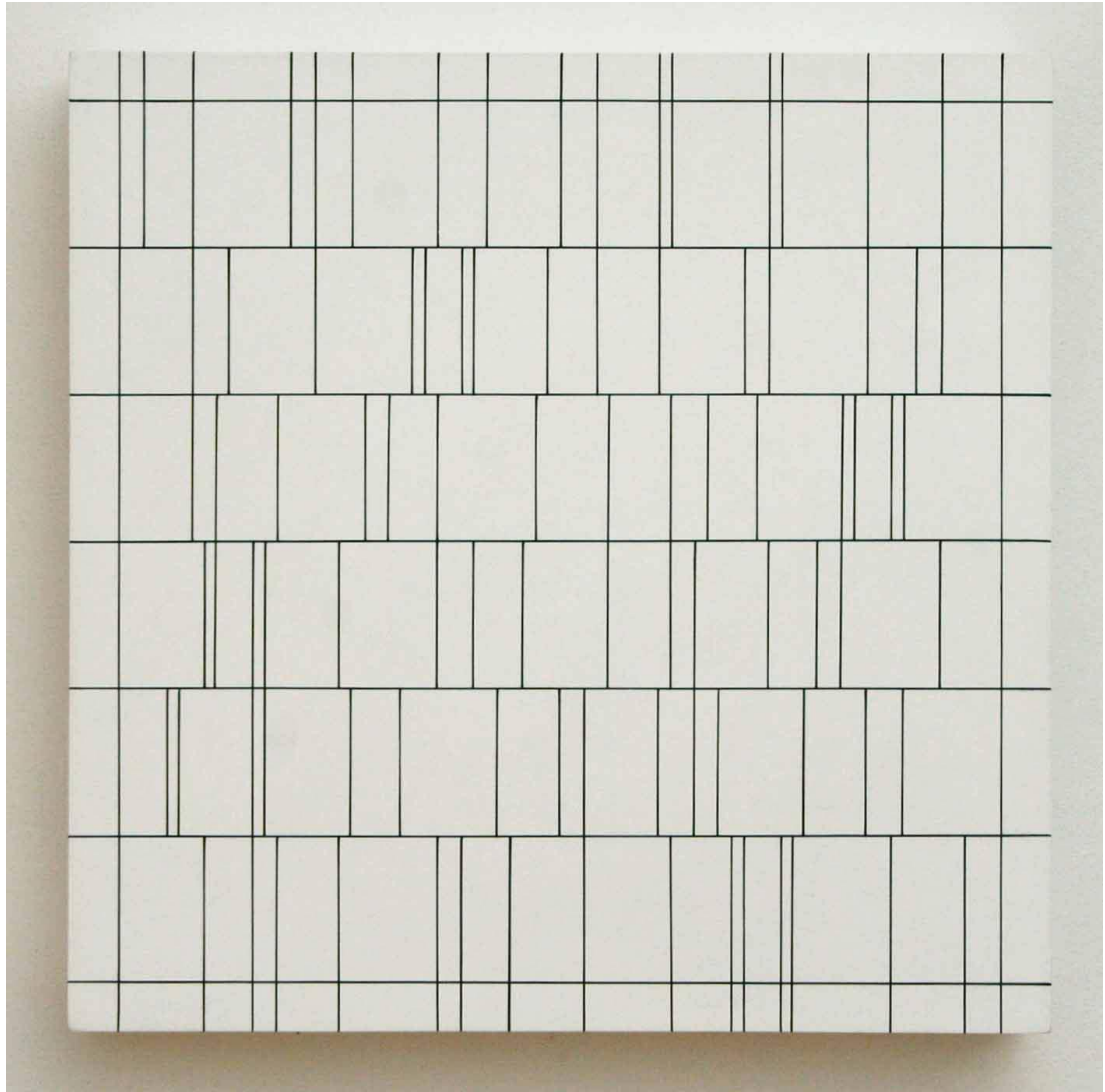
Pendant longtemps ses toiles étaient composées de combinaisons de carrés qui étaient divisés par des lignes droites, horizontales, verticales ou obliques. Puis dans les années 1990 il introduit la suite de Dudley Langford³⁵, dans laquelle il y a un nombre entre deux 1, deux nombres entre deux 2, trois nombres entre deux 3, quatre nombres entre deux 4, etc... Cette suite est finie, elle contient autant de paires de nombres égaux que le plus grand de ses termes.

Par exemple, pour les trois paires de nombres (1, 1), (2, 2) et (3, 3) on obtient la suite : 3, 1, 2, 1, 3, 2. Avec quatre paires de nombres, on a la suite suivante : 4, 1, 3, 1, 2, 4, 3, 2. Il n'y a pas de suite avec cinq ou six paires. On trouve 26 suites différentes avec sept paires et 150 suites avec huit paires.

Ces suites de Langford sont une variante des suites de Skolem, décrites par le mathématicien norvégien Thoralf Skolem³⁶. Une suite de Skolem d'ordre n est une suite de $2n$ entiers, constituée des entiers de 1 à n répétés chacun deux fois, les deux occurrences d'un entier k étant distantes de k . Une suite de Langford en est la variante où les occurrences de k sont distantes de $k+1$. Par exemple pour une suite de Skolem la distance entre deux nombres égaux à 3 est égale à 3, ce qui correspond à deux nombres au lieu de trois dans la suite de Langford.

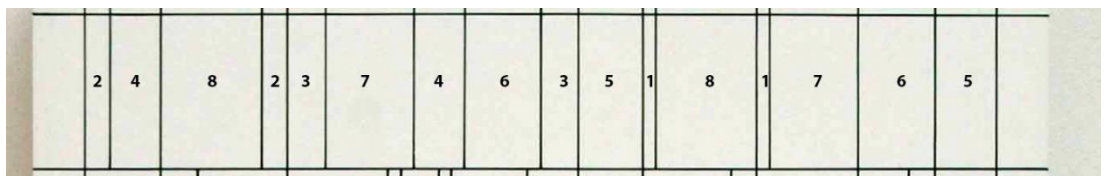
³⁵ Charles Dudley Langford, (1905-1969), mathématicien anglais.

³⁶ Thoralf Albert Skolem, (1887-1963), mathématicien norvégien.



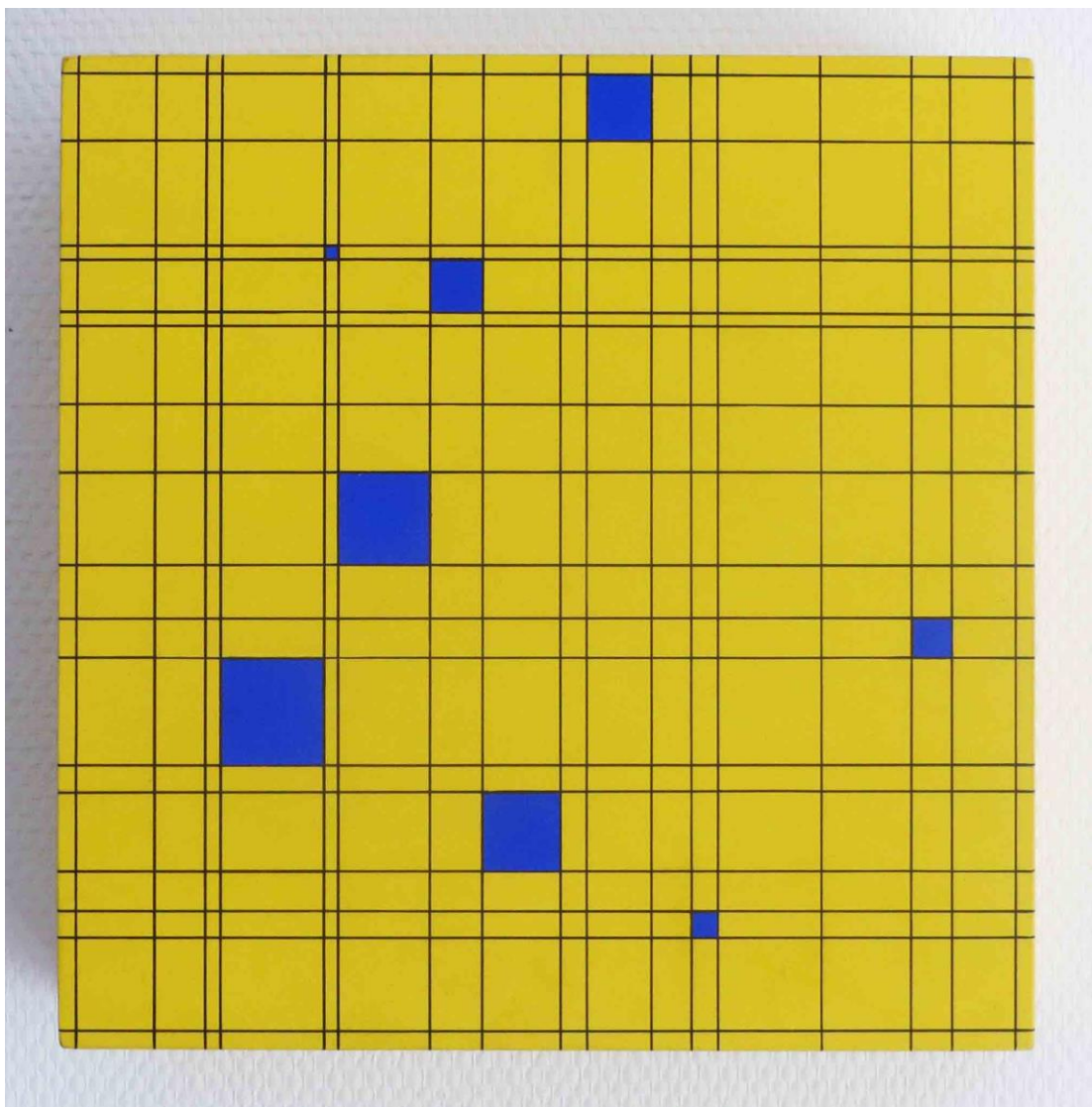
Gerhard Hotter, *Srivaq*, 2011, acrylique sur bois, 40 × 40 × 9 cm.

Dans *Srivaq* on reconnaît la présence de la suite de Langford. Dans le croquis ci-dessous, qui est un fragment de la toile qui représente la première ligne du tableau, en mesurant les espaces entre les traits verticaux on constate que ces longueurs sont proportionnelles aux nombres 2, 4, 8, 2, 3, 7, 4, 6, 3, 5, 1, 8, 1, 7, 6, 5, qui représentent la suite de Langford constituée des 8 paires (1, 1), (2, 2) jusqu'à (8, 8).



Fragment de *Srivaq* représentant la première ligne du tableau.

Gehard Hotter a fait une série très importante de tableaux construits avec la suite de Langford, il a multiplié les couleurs vives, il a parfois utilisé des lignes obliques, travaillé sur des toiles triangulaires. Dans sa toile *EX*, il utilise des lignes horizontales et des lignes verticales qui permettent de retrouver la suite de Langford aussi bien en ligne qu'en colonne. Et lorsque l'intersection d'une ligne et d'une colonne correspond au même nombre, on obtient un carré que Gerhard Hotter peint d'une autre couleur vive, ici en bleu, ce qui donne une certaine dynamique à la composition.



Gerhard Hotter, *EX*, 2015, acrylique sur bois, 30 × 30 × 9 cm.

2) Suites arithmétiques et géométriques

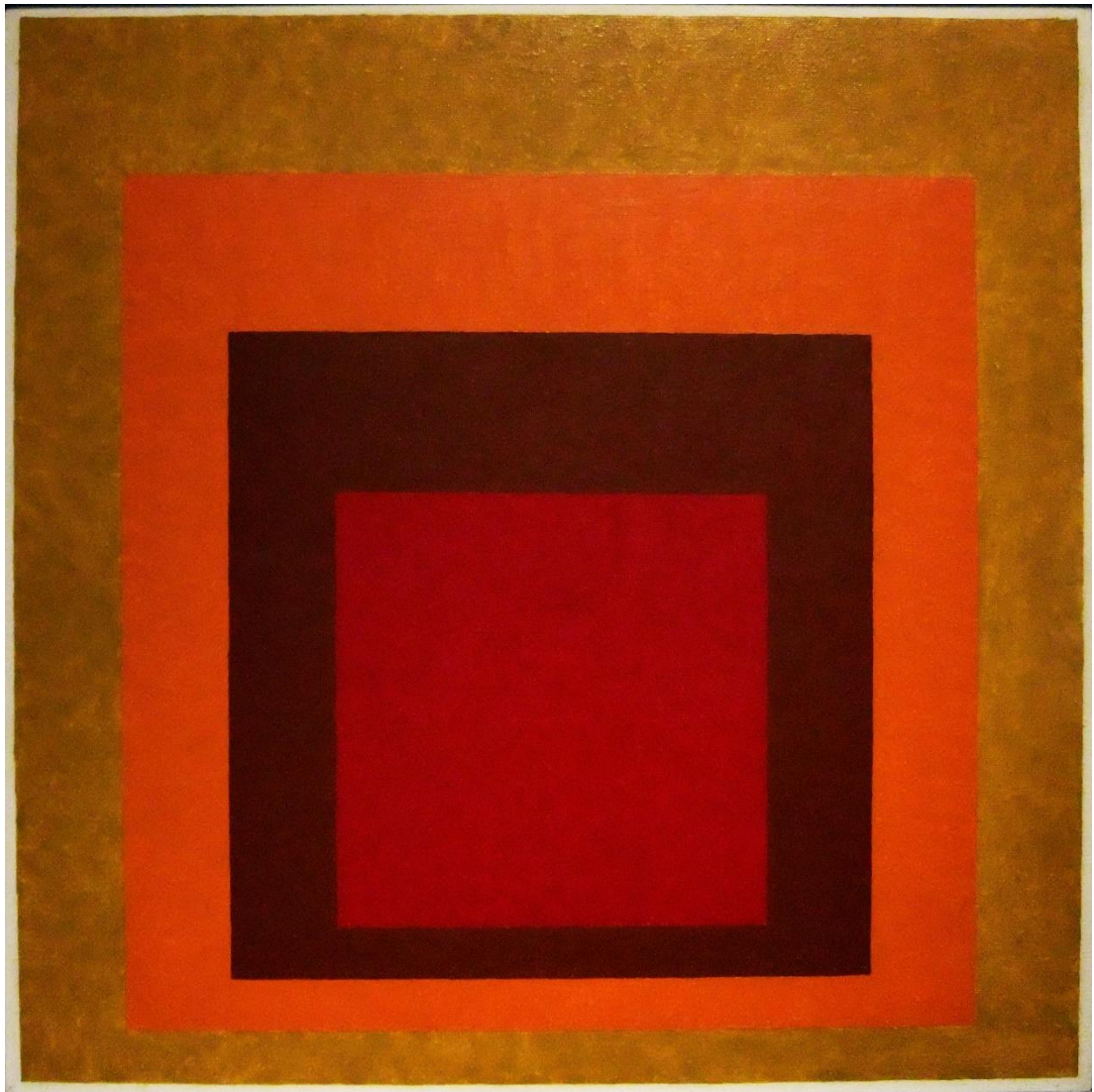
Ces suites se retrouvent très souvent dans des œuvres plastiques mais, contrairement aux suites particulières que nous venons d'étudier les artistes ne les utilisent pas pour leurs propriétés mathématiques mais plutôt pour l'idée de régularité, de répétition qu'elles véhiculent. Elles sont totalement déshumanisées, ne demandent que très peu de choix à faire pour les utiliser, seulement donner la valeur de leur raison³⁷. Elles représentent donc un outil minimal pour les artistes qui souhaitent faire un minimum de choix dans leur protocole plastique. Le plus souvent il s'agit pour l'artiste de répéter des espaces de même largeur, de tracer des lignes équidistantes sans, pour autant faire référence à la notion de suite. Celles que nous avons répertoriées se répartissent de la façon suivante entre artistes :

- a. Les suites arithmétiques avec Josef Albers, Jasper Johns, Dan Flavin.
- b. Les suites arithmétiques constantes avec Carl André, Daniel Buren, Bridget Riley, Bernard Frize, Philippe Decrauzat, Donald Judd, Richard-Paul Lohse, Niele Toroni, Claude Viallat.
- c. Les suites géométriques avec Théo Van Doesburg, Gerhard Richter, Côme Mosta-Heirt.

Comme pour les suites particulières étudiées précédemment cette énumération peut se révéler incomplète, c'est celle que nous étudierons à ce stade de notre recherche.

³⁷ Voir définition de la raison d'une suite arithmétique page 20.

a. Josef Albers



Joseph Albers, *Homage to the square, Affectionate*, 1954, huile sur isorel, 81 × 81 cm.

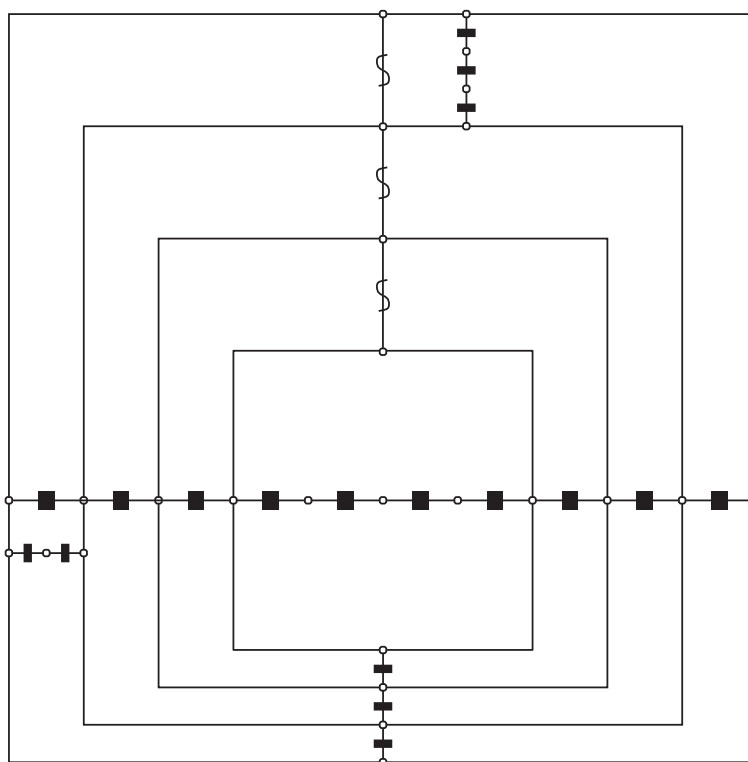
Cette œuvre fait partie d'une série éponyme qui décline des compositions de carrés de couleurs différentes, imbriqués les uns dans les autres en respectant toujours le même protocole de construction. Le travail de Josef Albers tourne beaucoup autour de la couleur et surtout de l'interaction entre les différentes couleurs, ce qu'il aborde dans son ouvrage *Interaction of Color*. Mais pour illustrer cette problématique de la couleur il a choisi un support très géométrique avec sa série *Hommage au carré*. Ces tableaux sont tous construits de la même

manière, ce sont les assemblages de couleur qui changent d'un tableau à l'autre. Josef Albers propose une étude des relations des couleurs entre elles, il pense que la perception des couleurs est en grande part déterminée par les couleurs voisines, il développe cette théorie dans ses écrits, en particulier dans son ouvrage, *Interaction of Color*.

La série des *Homage to the square* est donc une réflexion sur la couleur, mais elle utilise un support géométrique qui présente une certaine neutralité et qui permet de juxtaposer facilement différentes couleurs. Chaque tableau porte le titre *Homage to the square* suivi d'un sous-titre comme *Apparition*, *Inductive* ou encore *Warm silence*.

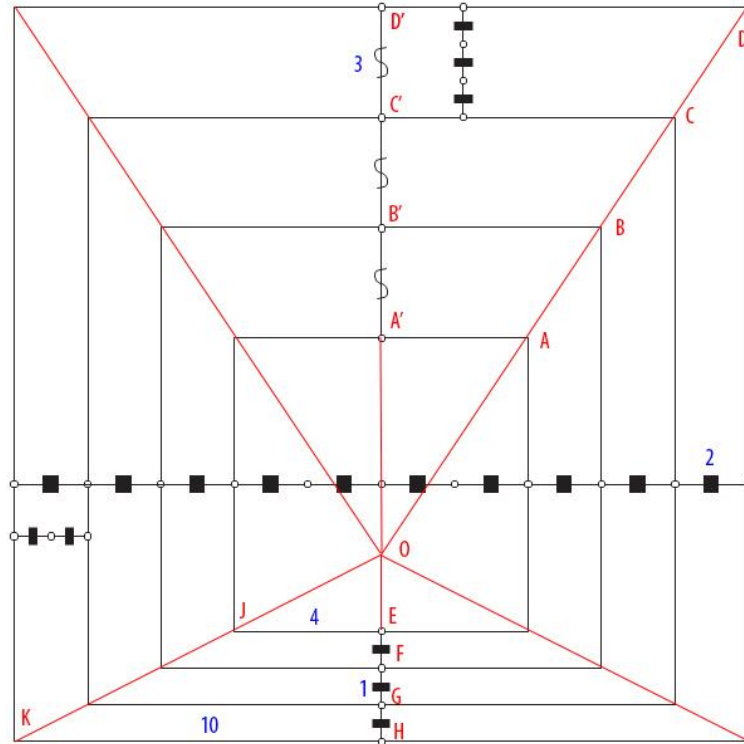
Chaque tableau est composé de trois ou quatre carrés non concentriques qui sont homothétiques avec un centre situé sur la médiatrice verticale du grand carré.

Nous allons étudier la construction de la configuration avec quatre carrés. Les dimensions des carrés sont proportionnelles à la suite des nombres 4, 6, 8, 10 qui est une progression arithmétique.



Croquis réalisé par l'IEM Paris Nord en 2014

J'ai repris le croquis ci-dessus, réalisé par l'IREM Paris Nord, et j'ai construit le centre d'homothétie O (voir figure ci-dessous).



Un simple calcul de rapports utilisant le théorème de Thalès montre que les segments OE et OH sont dans le même rapport que les segments EJ et HK c'est-à-dire $\frac{4}{10}$ soit $\frac{2}{5}$ donc le segment OE mesure 2 unités.

On peut en déduire les rapports d'homothétie qui transforment le petit carré en les carrés suivants. Pour passer du carré central au deuxième carré on a le rapport $\frac{OF}{OE} = \frac{3}{2}$

= 1,5. Pour passer du carré central au troisième carré on a $\frac{OG}{OE} = \frac{4}{2} = 2$. Et enfin pour

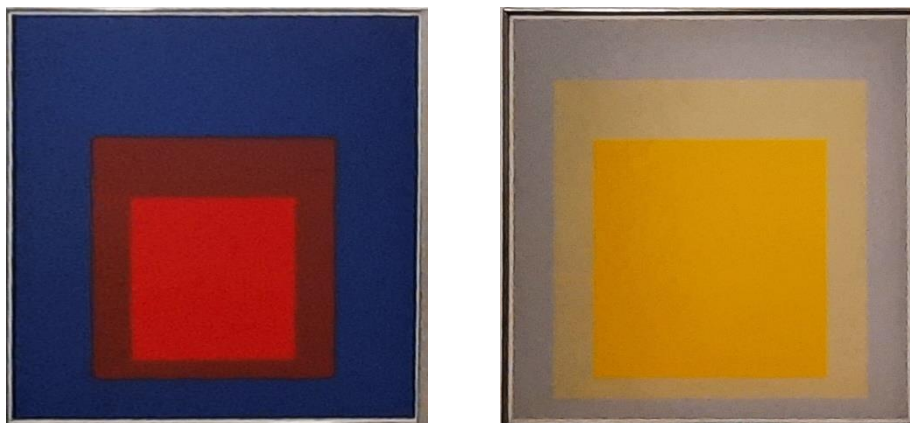
passer du carré central au grand carré on a $\frac{OH}{OE} = \frac{5}{2} = 2,5$. Ces différents rapports sont en progression arithmétique.

Dans certains des tableaux de cette série, Josef Albers n'a représenté que trois carrés, dans ce cas il manque un terme de la progression arithmétique, ce qui montre que l'utilisation d'une suite mathématique n'était pas la priorité de Josef Albers.

Dans son livre *Anni et Josef Albers, Equal et unigual*, Nicholas Fox Weber écrit :

«Chaque œuvre était constituée de carrés imbriqués les uns dans les autres. Les relations proportionnelles avec lesquelles ils étaient positionnés exigeaient que les distances - la largeur des carrés extérieurs - à gauche et à droite du carré central soient exactement le double de la mesure de la quantité de carrés extérieurs visibles sous celle du milieu. Les dimensions supérieures étaient, également avec une exactitude inébranlable, trois fois celles du bas. Parfois, il y avait trois carrés, parfois quatre. Ceux à quatre carrés ont tous la même disposition. Il existe trois variantes de celles à trois carrés. Si l'on considère les *Hommages* comme dix unités de large et dix de haut, dans deux de ces arrangements, le carré du milieu est de quatre unités de large et de haut, et le deuxième carré - lorsque vous vous déplacez vers l'extérieur à partir du centre - est soit six unités de large (avec une seule unité de couleur visible sous le carré du milieu et une unité et demie au-dessus du carré du milieu) ou huit unités de large (avec une unité visible sous le carré du milieu et trois au-dessus). La troisième version à trois carrés a un carré central de six unités sur six, avec, dans le deuxième carré en dehors de celui-ci, une demi-unité en dessous et une unité et demie au-dessus. Le rapport un-deux-trois était inviolable. Josef en dépendait pour induire des tensions et produire une variété d'effets.³⁸

Ci-dessous, voici deux exemples de la série *Hommage to the square*, avec seulement trois carrés et deux configurations différentes.



Josef Albers, *Hommage au carré, sur ciel proche*, 1963.

Josef Albers, *Hommage au carré, doux dense*, 1969.

³⁸ Nicholas Fox Weber, *Anni et Josef Albers*, 2020, Phaidon.

b. Gerhard Richter

Avec ses grands tirages numériques intitulés *Strip*, Gerhard Richter nous présente un système de lignes parallèles horizontales. Pour réaliser cette série il part de l'une de ses peintures, réalisée en 1990 : *Abstraktes Bild (724-4)*. Aidé d'un logiciel, il a divisé verticalement cette œuvre, d'abord en 2 parties égales, il a ensuite choisi l'une de ces deux parties puis l'a dupliquée par symétrie, il obtient ainsi une nouvelle image de la même taille que la précédente mais présentant un axe de symétrie. Il partage ensuite cette nouvelle image en quatre parties égales, il choisit l'une de ces parties, la duplique par symétrie, il obtient ainsi une bande verticale qu'il répète pour recouvrir toute la surface de l'image. Il itère le procédé en divisant l'image en 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, et enfin 4096 parties. Ce processus a conduit à la création de 8190 bandes, de la hauteur de la peinture de départ. A chaque stade de la division, les bandes s'affinent et leur répétition en miroir produit des motifs qui, petit à petit ne laissent plus voir que des bandes colorées horizontales.



Gerhard Richter, *Abstraktes Bild (Peinture abstraite)*, 1990, 724-4, huile sur toile, 92 × 126 cm.

Dans ce processus Gerhard Richter utilise une suite géométrique de premier terme 2 et de raison 2. A chaque nouvelle étape il multiplie par 2 le nombre de subdivisions du tableau.

Si, à chaque étape de division il se contentait de choisir la première bande obtenue à gauche du tableau il obtiendrait, au total, exactement 12 nouveaux tableaux. En réalité, à chaque nouvelle division il a autant de choix que le nombre de bandes obtenues. S'il divise son tableau en 256 bandes il a alors 256 façons de choisir une bande à partir de laquelle il reconstitue un nouveau tableau. Avec cette technique il a donc au total la possibilité de créer 8190 nouvelles images soit la somme $2 + 4 + 8 + 16 + 32 + 64 + 128 + 256 + 512 + 1024 + 2048 + 4096$ qui est la somme des 12 premiers termes d'une suite géométrique de premier terme égal à 2 et de raison égale à 2, ce qui peut aussi se calculer avec la formule suivante $2 \frac{2^{12}-1}{2-1} = 8190$.³⁹

Il répertorie 238 de ces 8190 compositions dans un ouvrage intitulé *Motifs* paru en 2012.⁴⁰

Dans le croquis ci-dessous Gerhard Richter présente les 238 motifs répertoriés dans son livre *Motifs*. Chaque étape est représentée sur la gauche par les chiffres romains de I à XII. A droite le nombre total de bandes verticales à une étape donnée et le nombre de bandes représentées à cette étape.

Par exemple sur la ligne 16 sur 1024 il a retenu 16 résultats sur les 1024 possibles de cette étape. Ce croquis permet de faire apparaître que les bandes sont de plus en plus fines ce qui lui permet de faire disparaître petit à petit les motifs au profit de bandes horizontales uniformes.

Dans le sommaire de cet ouvrage nous pouvons voir le rang de la bande retenue pour une image finale donnée pour chaque étape. Cela nous permet ensuite, avec les images présentées dans l'ouvrage, de voir l'importance du choix de la bande qui va être dupliquée dans le résultat colorimétrique de l'image finale.

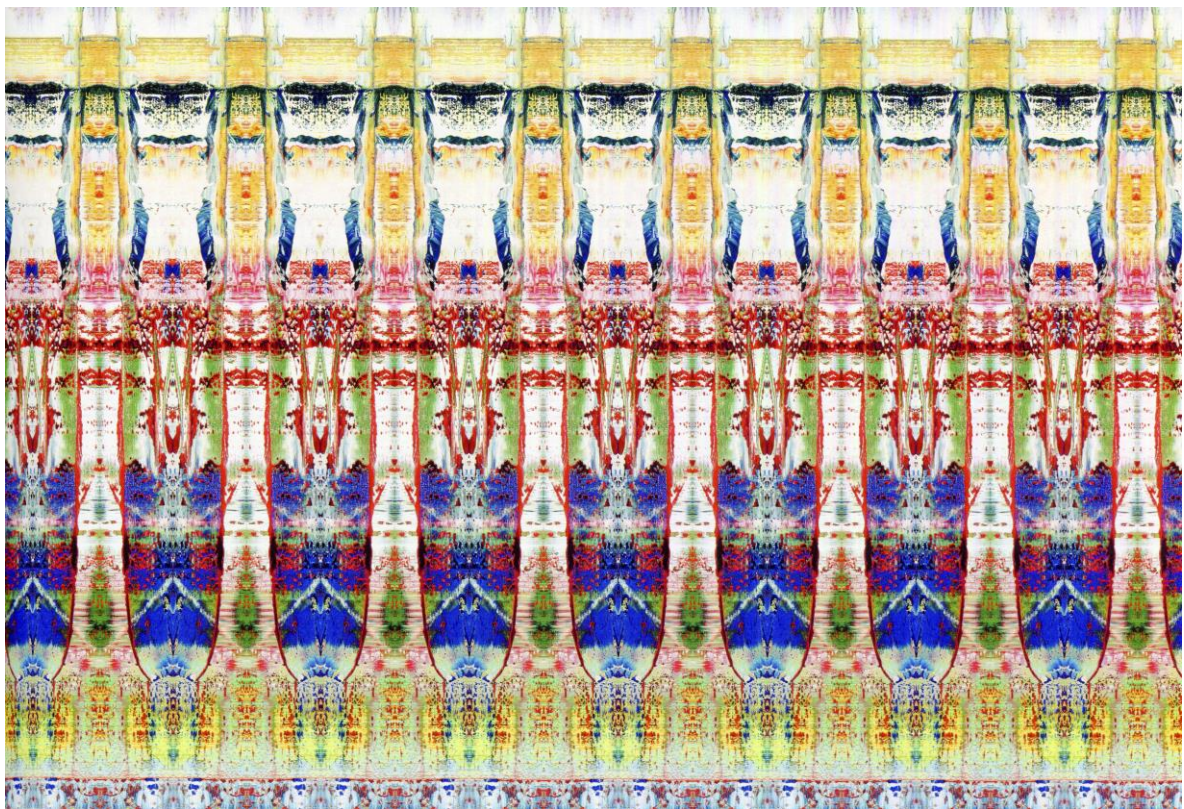
³⁹ La somme des n premiers termes d'une suite géométrique de premier terme a et de raison q est égale à $a \frac{q^n - 1}{q - 1}$

⁴⁰ Gerhard Richter, *Motifs*, 2012, Heni Publishing, Londres et Verlag der Buchhandlung Walther König, Köln.

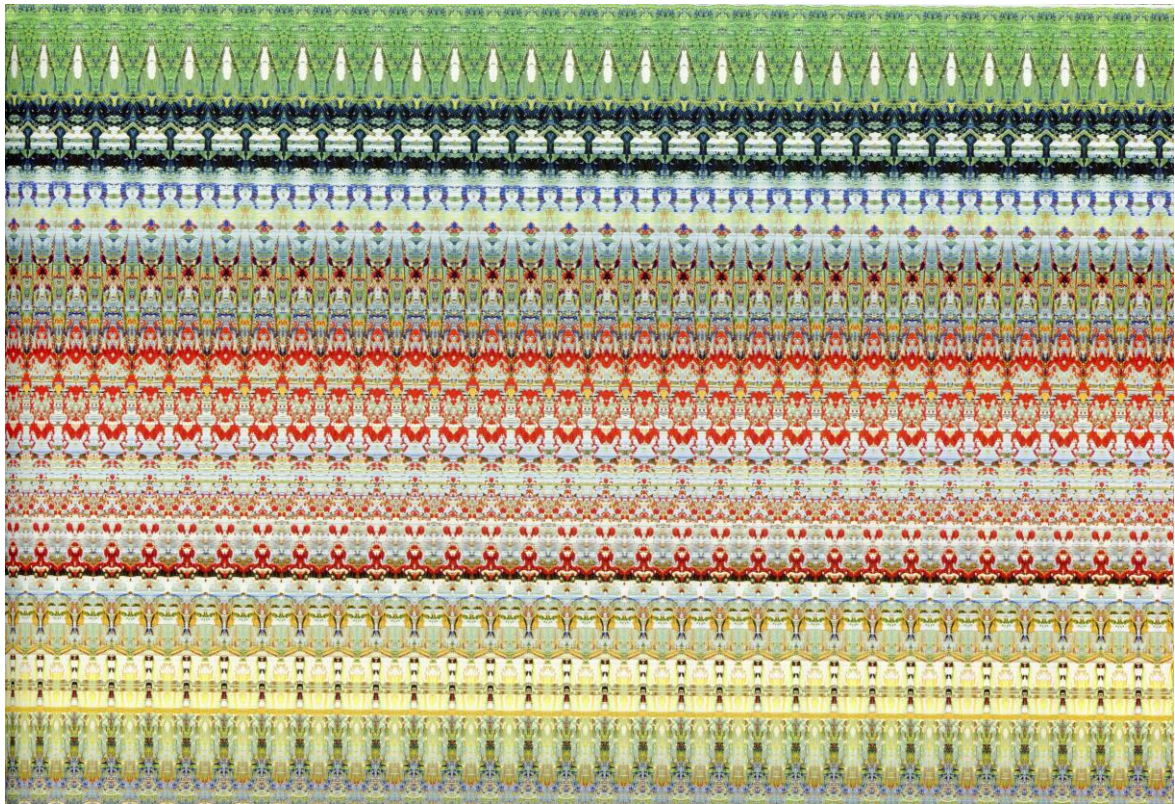
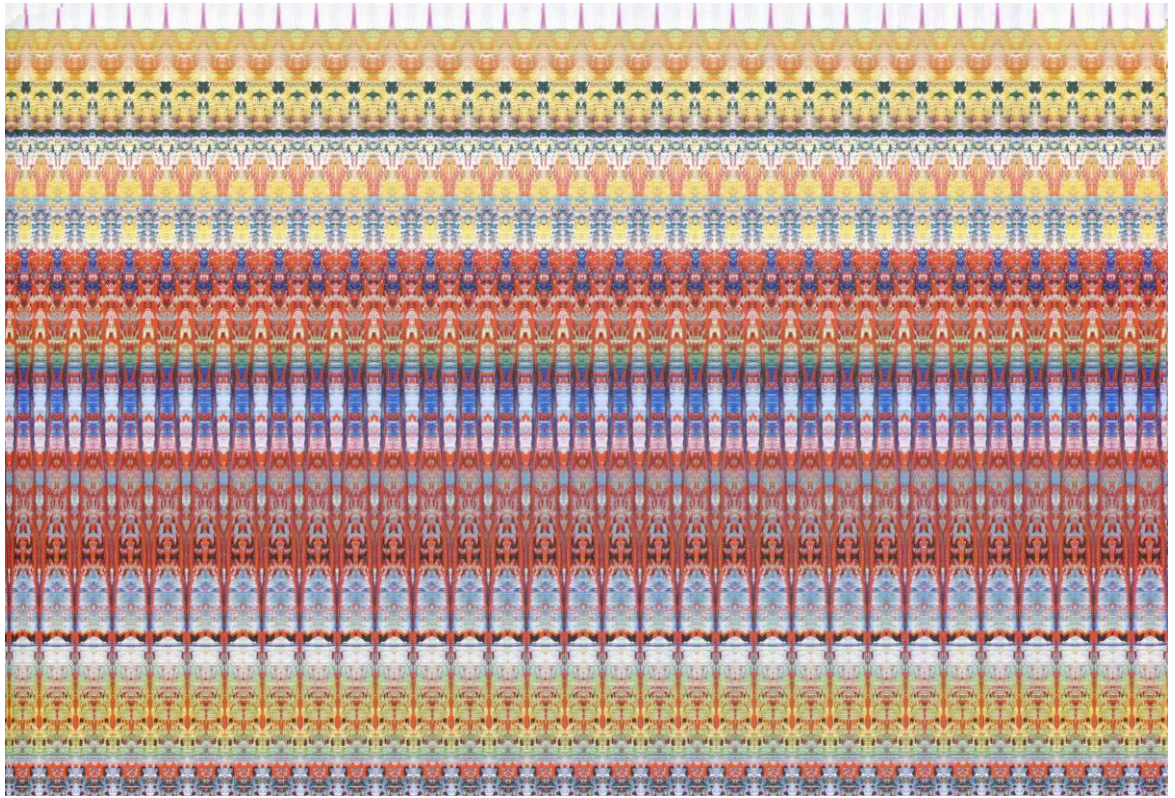
I		2 sur 2
II		4 sur 4
III		8 sur 8
IV		16 sur 16
V		32 sur 32
VI		64 sur 64
VII		32 sur 128
VIII		16 sur 256
IX		16 sur 512
X		16 sur 1024
XI		16 sur 2048
XII		16 sur 4096

SOMMAIRE	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
	1 / 2	1 / 4	1 / 8	1 / 16	1 / 32	1 / 64	33 / 64	4 / 128	12 / 256	16 / 512	16 / 1024	38 / 2048	156 / 4096
	2 / 2	2 / 4	2 / 8	2 / 16	2 / 32	2 / 64	34 / 64	8 / 128	28 / 256	48 / 512	80 / 1024	128 / 2048	512 / 4096
		3 / 4	3 / 8	3 / 16	3 / 32	3 / 64	35 / 64	12 / 128	44 / 256	80 / 512	144 / 1024	280 / 2048	668 / 4096
		4 / 4	4 / 8	4 / 16	4 / 32	4 / 64	36 / 64	16 / 128	60 / 256	112 / 512	208 / 1024	384 / 2048	1024 / 4096
			5 / 8	5 / 16	5 / 32	5 / 64	37 / 64	20 / 128	76 / 256	144 / 512	272 / 1024	460 / 2048	1180 / 4096
			6 / 8	6 / 16	6 / 32	6 / 64	38 / 64	24 / 128	92 / 256	176 / 512	336 / 1024	640 / 2048	1536 / 4096
			7 / 8	7 / 16	7 / 32	7 / 64	39 / 64	28 / 128	108 / 256	208 / 512	400 / 1024	700 / 2048	1692 / 4096
			8 / 8	8 / 16	8 / 32	8 / 64	40 / 64	32 / 128	124 / 256	240 / 512	464 / 1024	896 / 2048	2048 / 4096
				9 / 16	9 / 32	9 / 64	41 / 64	36 / 128	140 / 256	272 / 512	528 / 1024	1000 / 2048	2204 / 4096
				10 / 16	10 / 32	10 / 64	42 / 64	40 / 128	156 / 256	304 / 512	592 / 1024	1152 / 2048	2560 / 4096
				11 / 16	11 / 32	11 / 64	43 / 64	44 / 128	172 / 256	336 / 512	656 / 1024	1300 / 2048	2716 / 4096
				12 / 16	12 / 32	12 / 64	44 / 64	48 / 128	188 / 256	368 / 512	720 / 1024	1408 / 2048	3072 / 4096
				13 / 16	13 / 32	13 / 64	45 / 64	52 / 128	204 / 256	400 / 512	784 / 1024	1500 / 2048	3228 / 4096
				14 / 16	14 / 32	14 / 64	46 / 64	56 / 128	220 / 256	432 / 512	848 / 1024	1664 / 2048	3584 / 4096
				15 / 16	15 / 32	15 / 64	47 / 64	60 / 128	236 / 256	464 / 512	912 / 1024	1750 / 2048	3740 / 4096
				16 / 16	16 / 32	16 / 64	48 / 64	64 / 128	252 / 256	496 / 512	976 / 1024	1920 / 2048	3952 / 4096
					17 / 32	17 / 64	49 / 64	68 / 128					
					18 / 32	18 / 64	50 / 64	72 / 128					
					19 / 32	19 / 64	51 / 64	76 / 128					
					20 / 32	20 / 64	52 / 64	80 / 128					
					21 / 32	21 / 64	53 / 64	84 / 128					
					22 / 32	22 / 64	54 / 64	88 / 128					
					23 / 32	23 / 64	55 / 64	92 / 128					
					24 / 32	24 / 64	56 / 64	96 / 128					
					25 / 32	25 / 64	57 / 64	100 / 128					
					26 / 32	26 / 64	58 / 64	104 / 128					
					27 / 32	27 / 64	59 / 64	108 / 128					
					28 / 32	28 / 64	60 / 64	112 / 128					
					29 / 32	29 / 64	61 / 64	116 / 128					
					30 / 32	30 / 64	62 / 64	120 / 128					
					31 / 32	31 / 64	63 / 64	124 / 128					
					32 / 32	32 / 64	64 / 64	128 / 128					

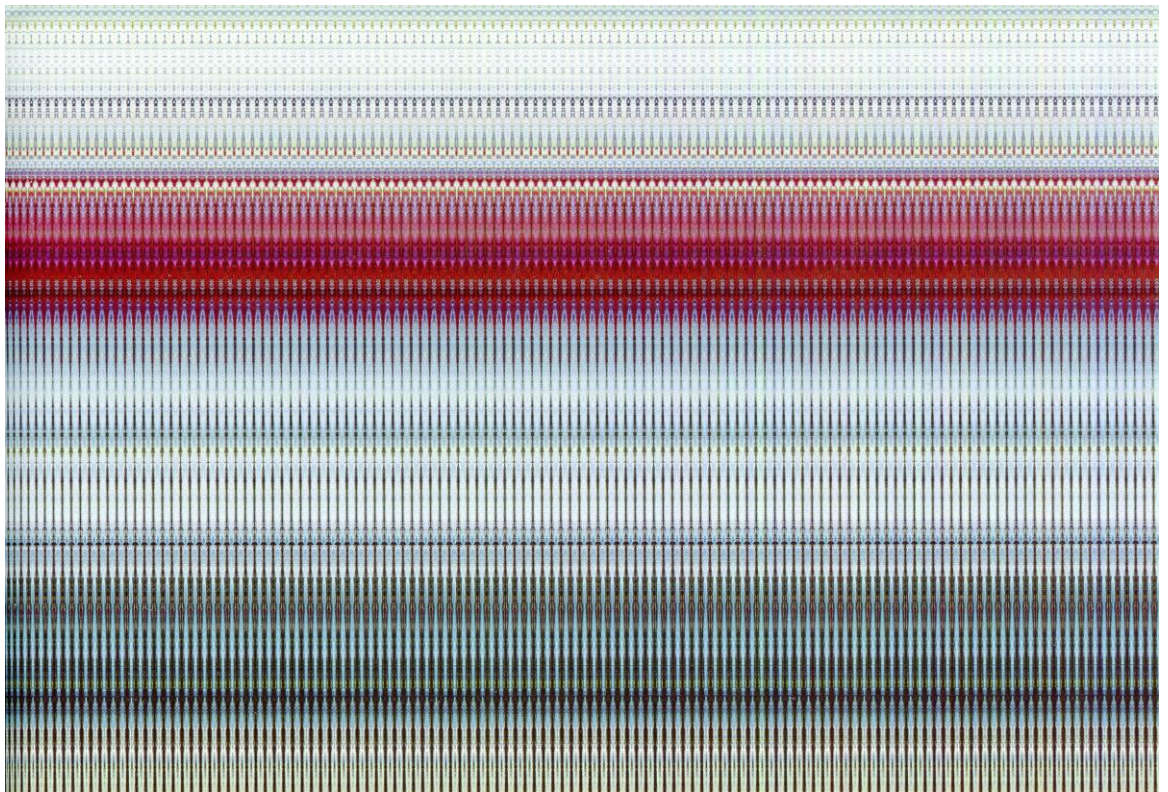
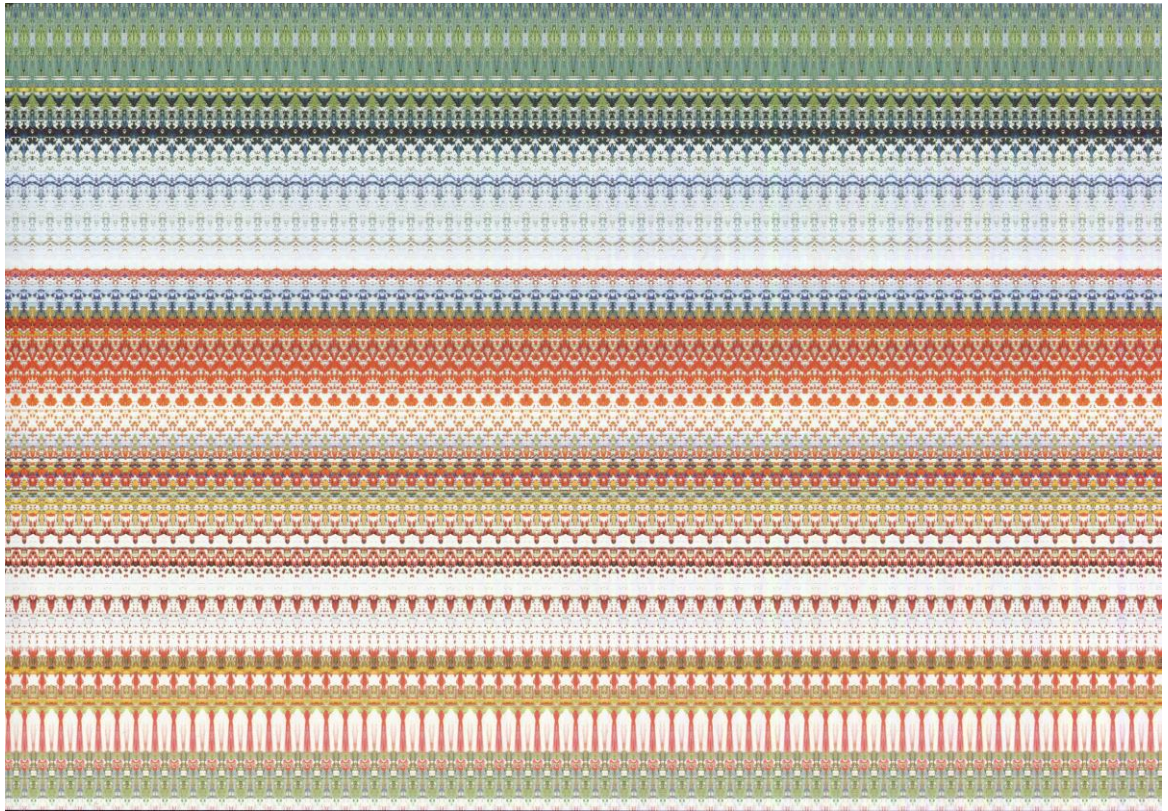
Gerhard Richter, *Motifs*, les 238 motifs répertoriés et sommaire.



Gerhard Richter, *Motifs, III, 7/8* et *Motifs, IV, 7/16*, 2012.



Gerhard Richter, *Motifs, VI, 21/64* et *Motifs, VI, 51/64*, 2012.



Gerhard Richter, *Motifs, VII, 112/128* et *Motifs, VIII, 252/256*, 2012.



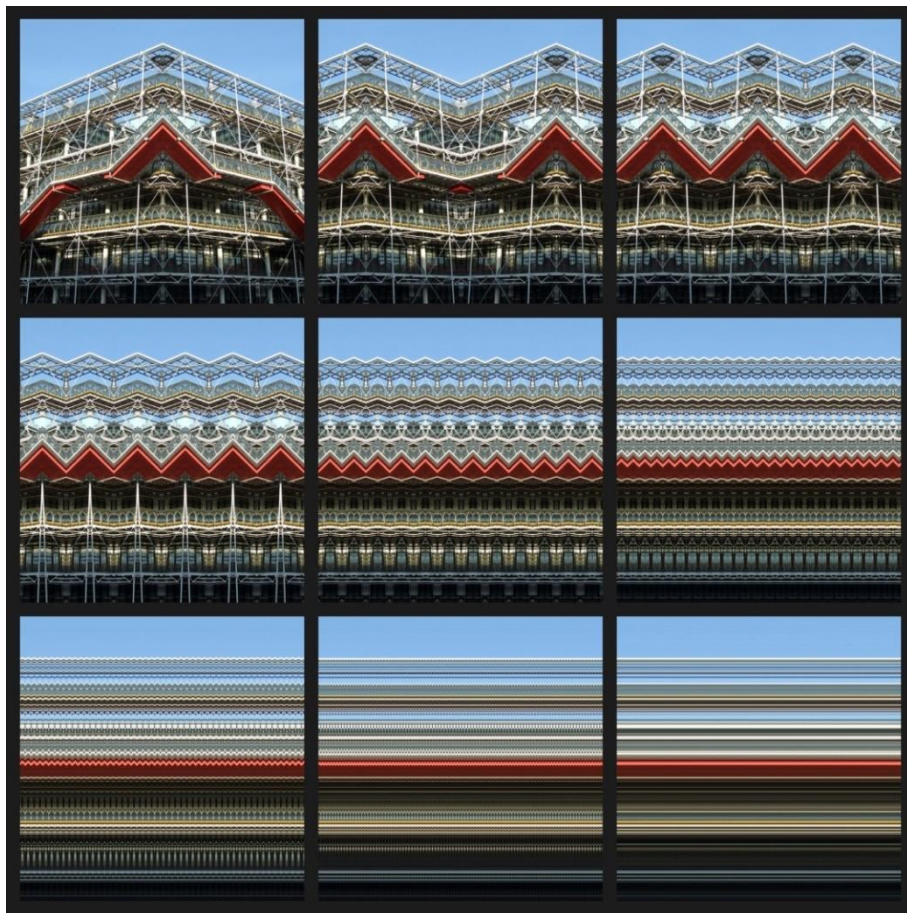
Gerhard Richter, *Motifs, XII, 512/4096* et *Motifs, XII, 1536/4096*, 2012.

Il est intéressant de remarquer comment Gerhard Richter est parti d'une toile que l'on peut considérer comme de l'abstraction lyrique pour aboutir à une œuvre qui est plus proche de l'abstraction géométrique.

c. Analyse d'un travail personnel

Je me suis inspirée de ce travail de Gerhard Richter pour réaliser une composition de 9 carrés représentant chacun un découpage d'une photo du centre Beaubourg suivant la méthode décrite ci-dessus. J'ai réalisé une succession de 9 découpages de cette photographie, j'ai donc utilisé les neufs premiers termes de la suite géométrique de premier terme 2 et de raison 2, c'est-à-dire que j'ai découpé ma photo en deux, puis quatre parties, etc ... jusqu'à 512 parties. J'ai ensuite choisi à chaque étape la bande verticale qui me convenait le mieux en termes de composition et de couleurs. J'ai obtenu les motifs suivants :

I, 1/2; II, 2/4 ; III, 4/8 ; IV, 7/16 ; V, 13/32 ; VI, 26/64 ; VII, 51/128 ;
VIII, 101/256 ; IX, 202/512.



Denise Demaret-Pranville, *Hommage à Gerhard Richter, progression géométrique*, 2017, photomontage.

d. Jasper Johns



Jasper Johns, *Numbers*, 1960-1971 Série de 10 dessins.

Lithographie découpées, contrecollées sur papier, retravaillées à la peinture acrylique et à l'huile, collage de fibres et de papier Japon déchiré, 32,2 × 27,5 cm

Cette série de chiffres réalisée par Jasper Johns se situe entre l'art sériel et la représentation d'une suite mathématique. Dans son œuvre, Jasper Johns a beaucoup utilisé le principe de la série, il a peint des drapeaux, des cibles, des boîtes de conserve, etc... Lorsqu'il peint ses séries de chiffres il change d'univers car les objets choisis ne sont plus des objets réels de la vie courante mais des objets abstraits mathématiques. Néanmoins il reste à la frontière entre le figuratif et l'abstraction car il choisit de peindre le symbole de chaque chiffre, la « figure » en anglais, il ne fait donc pas une interprétation abstraite de ces chiffres.

Le fait de peindre ces 10 chiffres revient à représenter une suite arithmétique, la suite des dix chiffres de la numération décimale qui est une suite arithmétique de premier terme zéro et de raison un. L'objectif de Jasper Johns n'était certainement pas de représenter une suite arithmétique mais de continuer son travail sériel, les chiffres étant pour lui des objets comme les autres.

e. **Dan Flavin**

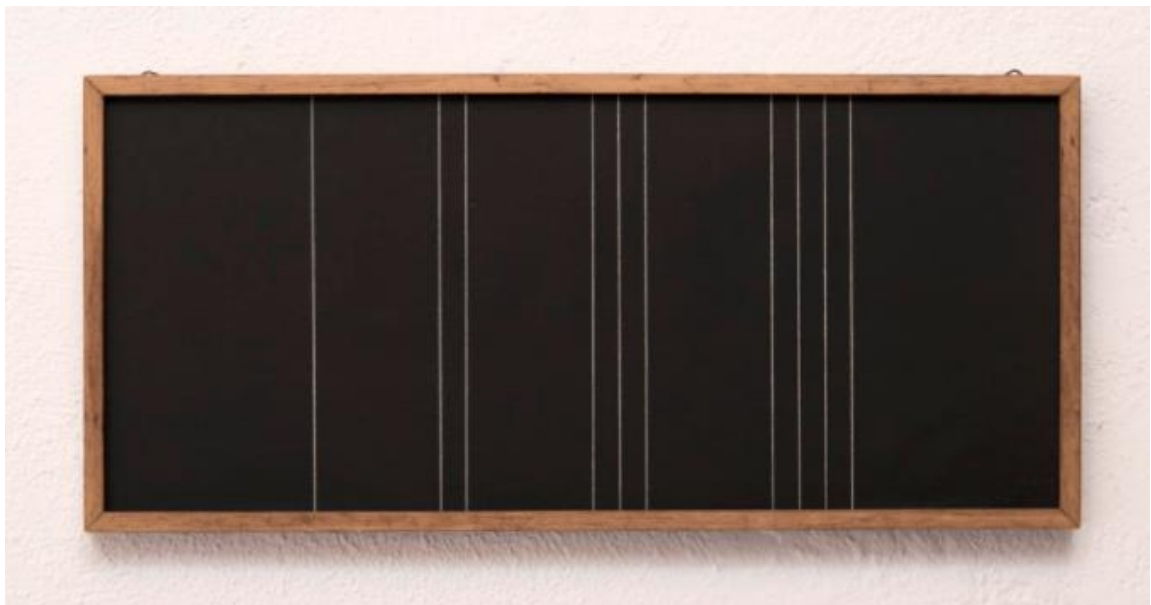


Dan Flavin, *The Nominal Three (to William of Ockham)*, 1963, succession de tubes fluorescents disposés en groupes de un, deux et trois néons verticaux.

Là où nous voyons une œuvre abstraite faisant référence à une suite mathématique, en l'occurrence la suite des trois premiers entiers positifs, 1, 2, 3, (qui sont aussi trois termes consécutifs de la suite de Fibonacci), Dan Flavin introduit une dimension symbolique dans cette œuvre. Cette œuvre est un hommage au moine franciscain Guillaume d'Ockham (1285-2347), qui était philosophe, logicien et théologien anglais. C'était un représentant de l'école scolastique nominaliste qui considère que les concepts sont des constructions humaines et que les noms de ces concepts ne sont que des conventions de langage. Ce système philosophique ne donne pas d'universalité à des catégories transcendantes mais seulement à ce qui est construit par l'esprit de l'observateur. Guillaume d'Ockham affirmait, au mépris de la doctrine catholique prédominante de Saint Thomas d'Aquin, que les idées universelles étaient des signes abstraits, rejetant l'idée qu'il était possible de savoir intellectuellement que Dieu existait. Ces théories lui ont valu d'être accusé d'hérésie par le pape Jean XXII.

Au départ, la première idée de Flavin était centrée autour d'une seule pièce fluorescente appelée *One (To William of Ockham)* en 1963. Il créait ainsi une référence directe à l'axiome du philosophe selon lequel, pour expliquer tout phénomène, il faut opter pour le plus petit nombre de variables. Étroitement associé à sa théorie du nominalisme, Guillaume d'Ockham traduit ce principe par : « *entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem* », c'est-à-dire qu'« il ne faut pas multiplier les entités sans nécessité ». Ce principe d'économie ou de parcimonie est donc évoqué par l'œuvre *One* de Dan Flavin. Puis Dan Flavin élabore la version finale avec sa triple progression, dans laquelle certains ont vu une allusion au mysticisme catholique.

Il est intéressant de remarquer que sans le sous-titre (*To William of Ockham*) ces œuvres passeraient pour des œuvres minimalistes sous-tendues par un protocole rigoureux. Il est surprenant que Dan Flavin ait dédié ce travail à Guillaume d'Ockham et qu'il lui ait attribué cette valeur symbolique car sa démarche se voulait, avant tout, minimaliste et dénuée de toute spiritualité. Mais il faut savoir que Dan Flavin aimait bien dédier ses œuvres à quelqu'un, ami ou personnalité plus ou moins importante, par exemple son frère David ou Constantin Brancusi.



Dan Flavin, *Extention du Nominal Three (To William of Ockham)*, 1964, crayon de couleur sur papier noir, 20,3 X 46 cm, Fondation Judd à New York.

En 1964 Dan Flavin imagine d'élargir la progression de *The Nominal Three* à un quatrième groupement de 4 tubes, ce qui fait perdre à cette œuvre son caractère symbolique et en fait réellement une œuvre minimaliste représentant une progression arithmétique de premier terme 1 et de raison 1. Mais cette configuration n'est restée qu'à l'état de projet et n'a jamais été réalisée en trois dimensions avec des tubes fluorescents.

f. Carl André



Carl André, *Nineteenth Copper Cardinal (Dix-neuvième cardinal en cuivre)*, 1975,
Dix-neuf plaques de cuivre, 50 × 50 cm.

Carl André est un artiste américain représentatif du mouvement Minimaliste. Il choisit de réinventer la sculpture en créant des sculptures horizontales qui envahissent le sol. Elles sont composées de matériaux simples, briques ou plaques de métal qui ne sont pas fixées entre elles et qui sont de forme rectangulaire ou carrée. Il fait dialoguer ses installations avec le lieu et dispose ses éléments de façon géométrique, par exemple dans un coin de la salle d'exposition ou bien en damier. Dans son œuvre *Nineteenth Copper Cardinal*, il dispose au sol 19 plaques carrées en cuivre qui mesurent toutes 50 cm de côté. Il les aligne selon une longue ligne droite qui fait penser à une suite arithmétique de premier terme 50 cm et de raison 50 cm. Les longueurs s'ajoutent pour arriver au dix-neuvième terme égal à 9,50 m. Pourquoi ce choix de 19 plaques ? C'est un nombre impair, on peut donc imaginer que cela permet d'avoir une plaque centrale avec 9 plaques avant et 9 plaques après dans cet alignement. De plus, 19 est un nombre premier, c'est-à-dire qu'on ne peut le diviser que par 1 et 19 et en le divisant par 19 on obtient 1 soit l'unité représentée par chacune des plaques. D'autre part, dans le titre, Carl André utilise le terme *cardinal*, or en mathématiques le cardinal d'un ensemble est le nombre d'éléments de cet ensemble. Il est donc évident que Carl André joue avec les nombres et leurs propriétés, on peut donc imaginer que là où nous voyons la présence d'une suite mathématique, il a lui-même pressenti ce concept. Toutes les œuvres de Carl André sont empreintes d'une certaine rigueur qui lui permet de conduire son projet Minimaliste. Nous verrons plus loin qu'il a aussi intégré le dénombrement à certaines de ses œuvres.

g. Daniel Buren



Daniel Buren, *Peinture [manifestation 3]*, mai 1967, peinture à l'acrylique, toile de coton à rayures blanches et rouges de 8,7 cm de large chacune.

Daniel Buren est un artiste français qui a fondé le groupe B. M. T. P. (Buren, Mosset, Toroni, Parmentier) en 1966, cet acronyme aurait été créé par les critiques sans l'accord des artistes. Ces quatre artistes revendiquent la création d'œuvres dénuées de toute émotion et de tout message et exposent en 1967 des toiles recouvertes d'un graphisme minimal, bandes, cercles, traces de pinceaux. Le groupe se séparera très rapidement, dès 1967. C'est l'époque où Daniel Buren commence à utiliser une toile avec des bandes de couleur, cette toile qui

va devenir récurrente et emblématique de son travail. Une de ses premières toiles est celle présentée avec le groupe B. M. T. P en 1967, c'est une toile de coton à rayures blanches et rouges de 8,7 cm de large chacune, dont les deux bandes extrêmes sont recouvertes de peinture acrylique blanche au recto. Il répètera indéfiniment ce protocole des bandes de couleur, toujours de la même largeur 8,7 cm avec le même espacement égal à la largeur des bandes.



Daniel Buren, *Les deux Plateaux*, 1986, sculpture permanente in situ.

Nous retrouvons les bandes de Buren dans de nombreuses œuvres, que ce soit pour des œuvres permanentes comme les colonnes de Buren dont le titre est « *Les Deux Plateaux* » dans la cour du Palais Royal, ou bien dans des installations éphémères dans l'espace public.

Si nous voyons dans cette procédure la présence d'une suite arithmétique constante, c'est-à-dire une suite de premier terme 8,7 cm, de raison nulle, il est certain que l'objectif de Daniel Buren était avant tout de trouver un protocole dénué de toute sensibilité, ne demandant qu'un minimum de décisions et pouvant se décliner à l'infini de façon récurrente.

h. Bridget Riley

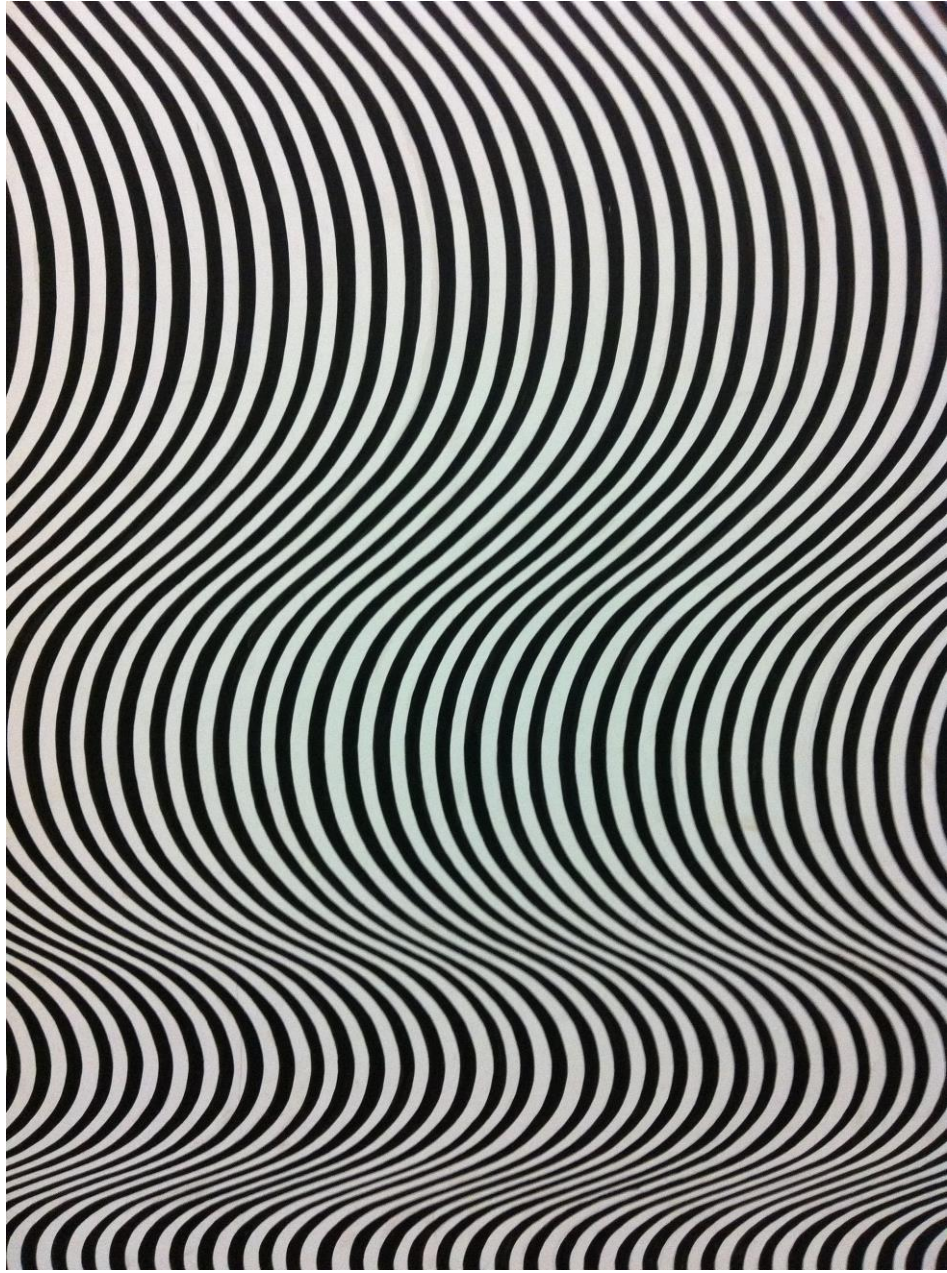
Bridget Riley a également beaucoup utilisé les rayures dans son travail, ces rayures sont régulières, espacées par des distances égales ce qui nous amène à voir dans son travail la présence de suites arithmétiques. Néanmoins, cet aspect mathématique n'est pas ce qui a guidé sa démarche. Dans une conversation avec Robert Kudielka, en 1972, à la question : « Est-ce que vous vous préoccupez des principes de perception ? », elle répondait :

*« Eh bien, regardez les tableaux. Je ne fais pas une démonstration de principe scientifique, perceptif, arithmétique ou géométrique. Cela ne m'intéresse pas du tout ».*⁴¹

Comme beaucoup d'artistes qui introduisent des lignes dans leurs œuvres, la référence aux mathématiques n'est pas, a priori, recherchée pour définir le protocole de leur pratique plastique. Dans le même entretien avec Robert Kudielka en 1972 elle dit :

« Dans mon travail récent avec la couleur j'utilise des rayures, soit parallèles ou bien torsadées, parce que ce sont des formes non-affirmées. Dans mon premier travail, quand je développais des formes complexes, les énergies du médium ne pouvaient être libérées entièrement qu'en simplifiant la couleur à une constante noir et blanc (avec à l'occasion des séquences grises). Inversement, les énergies de la couleur ont besoin d'un véhicule quasiment neutre pour se développer sans inhibition. La rayure répétée semble répondre à ces conditions [...] Je cherche à créer une couleur-forme, et non pas des formes colorées. »

⁴¹ Bridget Riley, *L'esprit de l'œil*, p.93, écrits d'artistes, Beaux-arts de Paris les éditions, 2008.



Bridget Riley, *Fall*, 1963, Peinture à l'acétate de polyvinyle sur panneau dur, 141 × 140 cm.

La différence avec le travail de Daniel Buren que nous venons d'étudier est que les rayures de Bridget Riley ne sont pas rectilignes mais ont un mouvement, ce qui fait qu'elle s'inscrit dans le mouvement de l'Op'Art.

i. Bernard Frize

Parmi les artistes ayant utilisé des rayures nous pouvons également évoquer Bernard Frize qui a introduit ce procédé dans quelques-unes de ses œuvres.



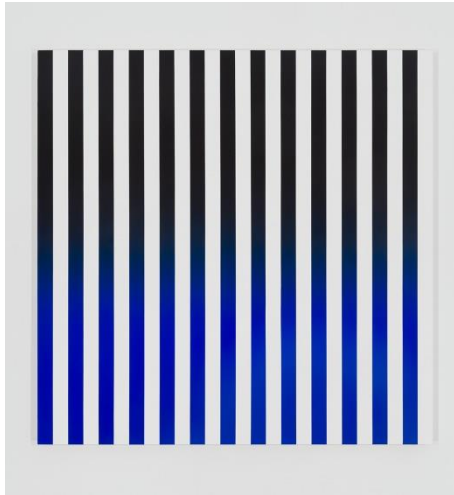
Bernard Frize, *Jacob, Isaac, Terah*, 2004, huile sur toile, triptyque.

Dans ce travail Bernard Frize présente une série au sens artistique du terme mais ses lignes espacées régulièrement évoquent une suite arithmétique.

Il s'astreint à un protocole dans le tracé de ses lignes, il les réalise d'un seul jet et respecte des espacements réguliers.

j. Philippe Decrauzat

Philippe Decrauzat travaille également sur des lignes espacées régulièrement. Il représente des bandes de couleur de même largeur séparées par des bandes blanches de largeurs régulières.



Philippe Decrauzat, *Slow-Motion-Blue*-2014.



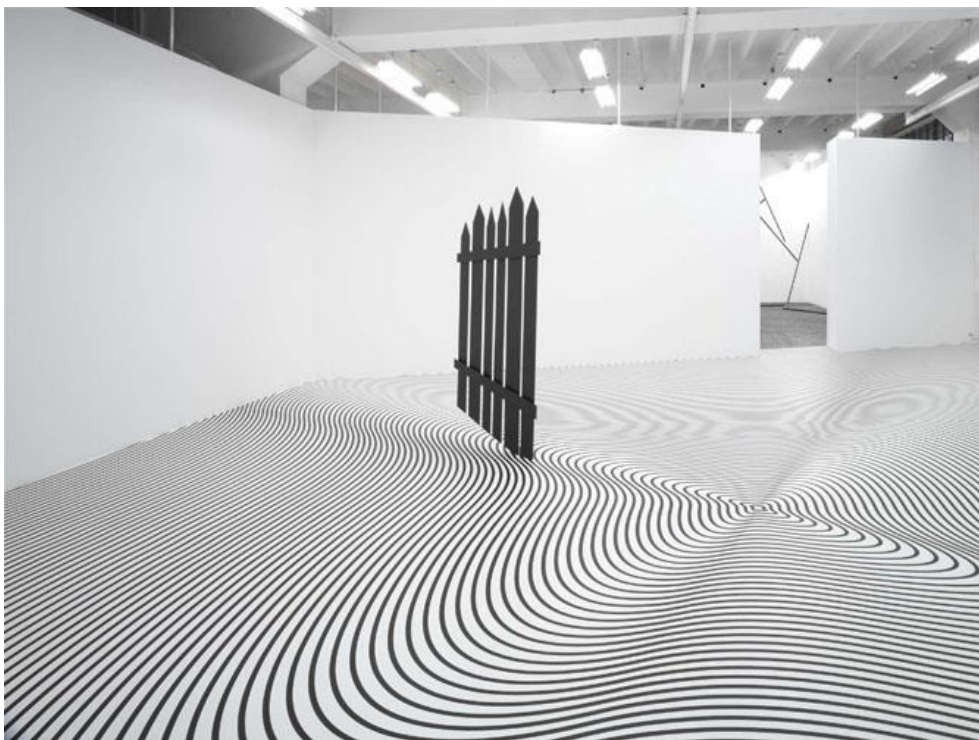
Philippe Decrauzat, *Five Star*, 2007, acrylique sur toile, 118 × 143 cm

Si le tableau *Slow-Motion-Blue* rappelle la régularité du travail de Daniel Buren, dans la plupart de ses œuvres, Philippe Decrauzat introduit un mouvement qui n'est pas sans rappeler l'Op'Art. Pour certaines œuvres il obtient ce résultat en projetant des points équidistants d'une courbe régulière (en l'occurrence une courbe sinusoïdale) sur un axe horizontal. L'artiste, intéressé par les procédés de la chronophotographie, a retravaillé des courbes inspirées de travaux scientifiques de Etienne-Jules Marey pour engendrer une succession de diagonales parallèles qui produisent sur notre vision des phénomènes ondulatoires, comme dans son œuvre murale *Mirrors*.

Soit il travaille sur des tableaux, comme avec *Five Star*, soit il travaille in situ et investit l'espace d'exposition, que ce soient les murs ou les sols.



Philippe Decrauzat, *Mirrors*, 2010.



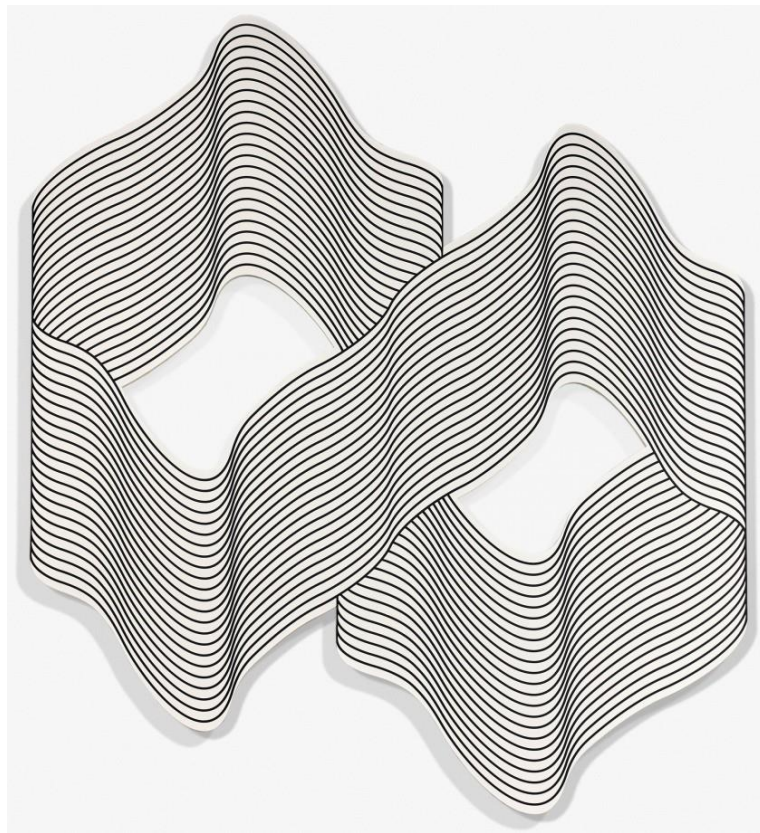
Philippe Decrauzat, *Can I Crash Here*, 2005, Peinture au sol en adhésif,
Dimensions variables.

Philippe Decrauzat, *One Two Three Four Five*, 2005, Acrylique sur bois, 208 ×
105 x 6 cm

Il ne se revendique pas d'un mouvement artistique et s'inspire de l'expérience des artistes de l'Art Conceptuel, et surtout de l'Op'Art. Il dit :

« Contrairement aux artistes des années 1980, je ne cherche pas à développer un discours sur les enjeux idéologiques qui ont accompagné le développement historique de l'abstraction ».

Peut-on vraiment dire que Philippe Decrauzat utilise les suites mathématiques ? Les espaces réguliers entre les bandes, peintes ou collées, évoquent clairement des suites arithmétiques. Mais faisons la distinction entre ce que nous observons et interprétons d'un point de vue mathématique et ce que l'artiste projette dans son œuvre. Si ses œuvres sont construites avec beaucoup de rigueur, avec certains principes mathématiques sous-jacents, lorsqu'il part de ses bandes régulières son objectif est, la plupart du temps, de les tordre, de leur imprimer des courbures, de perturber cette régularité.



Philippe Decrauzat, *Sans titre*, 2008, acrylique sur toile, 258 × 302 cm.

k. Donald Judd



Donald Judd, *Stack (Pile)*, 1972, Installation murale composée de 10 éléments superposés équidistants. Acier inoxydable, Plexiglas rouge, 470 × 102 × 79 cm, chaque élément : 23 x 102 × 79 cm.

Avec ses œuvres *Stack*, Donald Judd utilise des suites arithmétiques de raison nulle, le premier terme étant la hauteur d'une pièce métallique. Ensuite il réalise plusieurs pièces identiques à la première et il les installe verticalement contre un mur de telles sortes que les espaces entre les différentes pièces soient tous égaux à la hauteur de chacune d'elles.

Dans ce travail l'équidistance des plaques de métal représente une suite arithmétique constante, chaque terme étant égal à la distance entre chaque plaque ainsi que l'épaisseur des plaques.

Dans les œuvres de Donald Judd que nous avons étudiées plus haut, la présence de suites mathématiques était une volonté délibérée de l'artiste, en effet la suite de Fibonacci était nécessairement utilisée de façon volontaire comme un protocole récurrent. Avec la série des *Stack* il est plus difficile de dire que Donald Judd avait conscience de construire une suite arithmétique. En effet, la régularité dans un travail ou le choix de distances égales n'évoque pas nécessairement, pour celui qui utilise une telle construction, une suite mathématique.

1. Théo Van Doesburg



Theo Van Doesburg : *Composition arithmétique*, 1930, huile sur toile.

Théo Van Doesburg est un artiste néerlandais qui a fondé en 1917 le mouvement De Stijl avec Piet Mondrian, publiant de 1917 à 1932 la revue du même nom.

Il écrira :

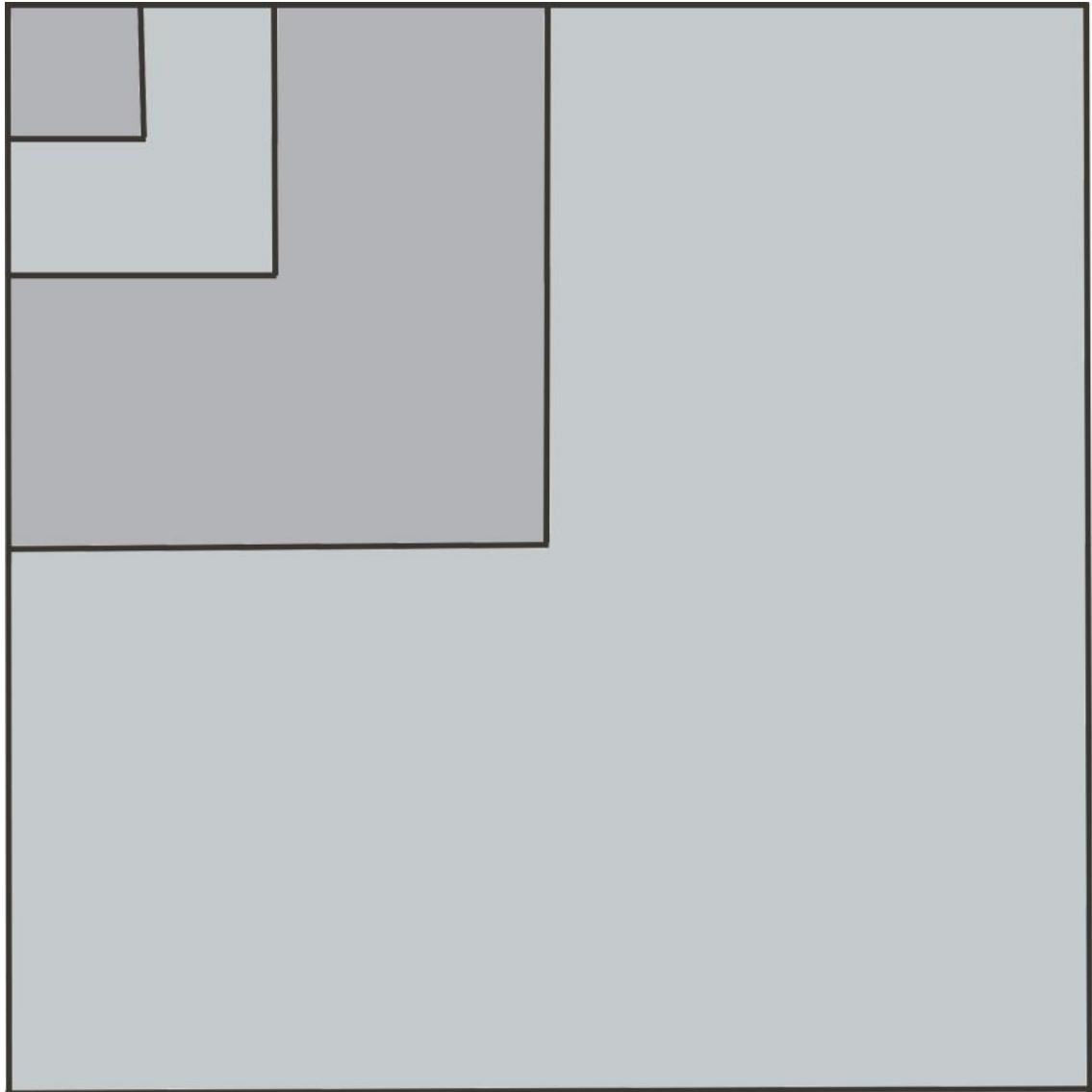
« Depuis 1913, nous ressentions tous un besoin d'abstraction et de simplification. Le caractère mathématique s'imposa de toute évidence face à l'impressionnisme, que nous rejetions ; tout ce qui n'allait pas au bout de nos principes était qualifié de "baroque".⁴²

Assez rapidement des différences interviennent entre Mondrian et Van Doesburg. Mondrian ne veut utiliser que les verticales et les horizontales alors que Van Doesburg accepte l'utilisation des diagonales. Il crée le groupe Art Concret avec Jean Hélion et c'est à ce moment-là qu'il réalise son œuvre « *Composition arithmétique* » en 1930 où il introduit des diagonales, les côtés des carrés de ce tableau formant un angle de 45° avec les verticales et les horizontales. Cette œuvre est très intéressante d'un point de vue mathématique car sa construction est très élaborée.

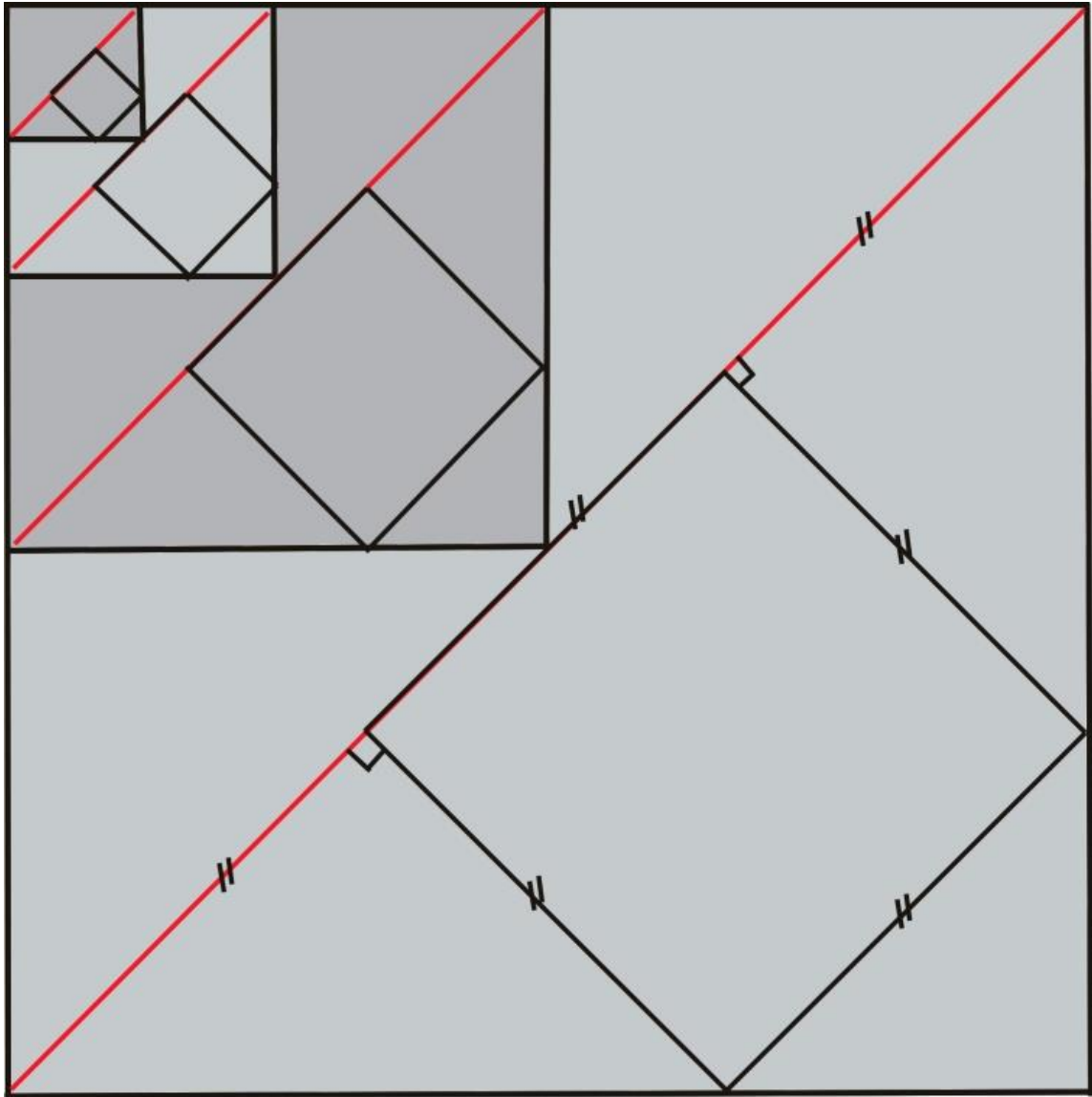
Pour étudier « *Composition arithmétique* » j'ai réalisé les croquis ci-dessous que nous allons commenter.

Il faut tout d'abord construire des carrés homothétiques, le premier carré a un côté égal à $\frac{1}{8}$ du côté du grand carré. Puis les carrés suivants sont obtenus en multipliant les longueurs des côtés par 2, on obtient donc une suite géométrique de raison 2. Les aires des carrés successifs sont obtenues en multipliant l'aire du carré précédent par 4, on obtient cette fois une suite géométrique de raison 4.

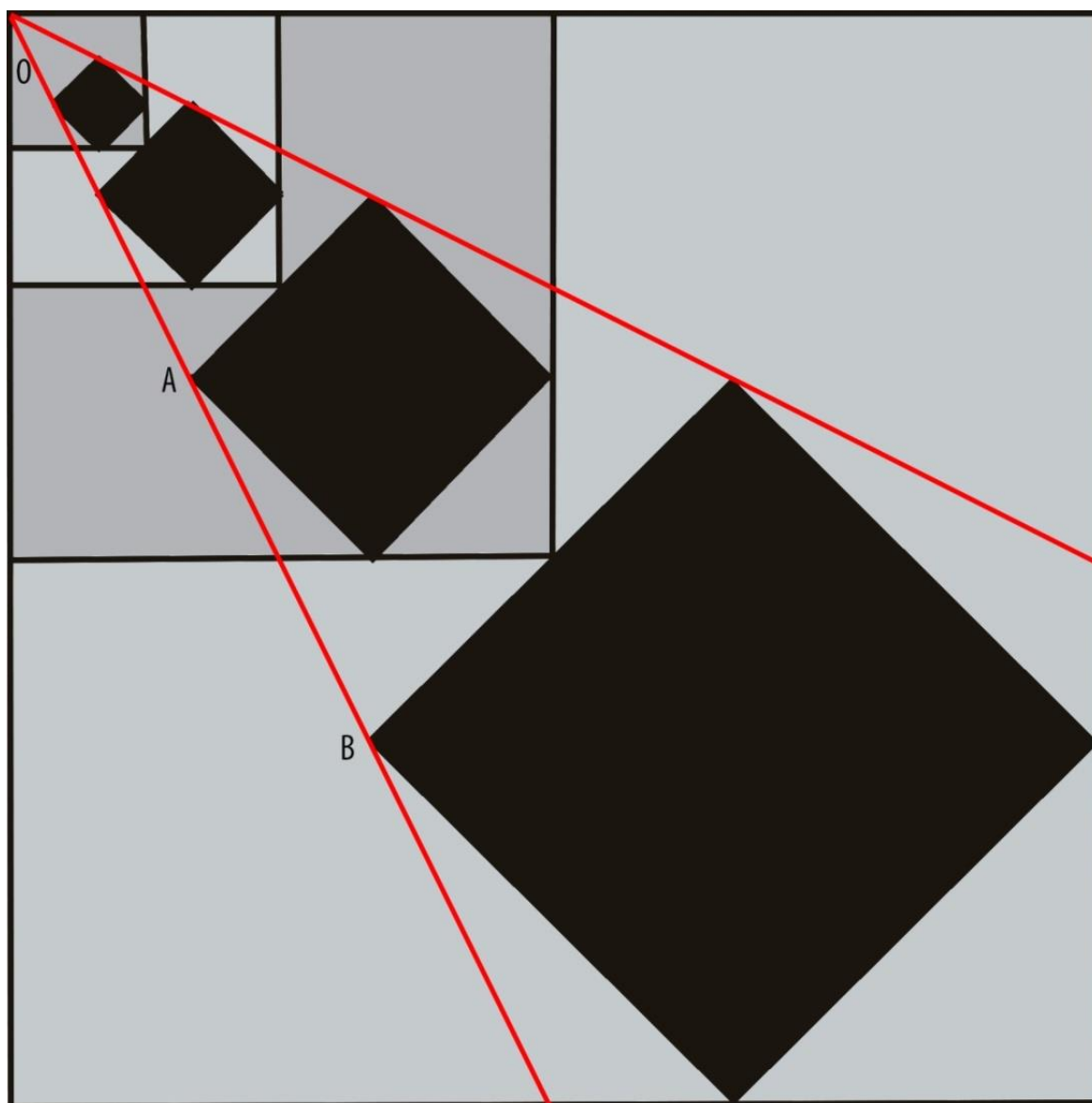
⁴² Brigitte Leal, *Mondrian, De Stijl*, Paris, Éditions du Centre Pompidou, 2010, 4^e de couverture.



Ensuite Théo Van Doesburg construit les diagonales des carrés précédents (diagonales en rouge). Elles lui permettent d'obtenir des carrés dont un côté est confondu avec ces diagonales et dont deux sommets sont situés sur les côtés des carrés dans lesquels ils sont inscrits. Ces nouveaux carrés sont inclinés à 45° par rapport à la verticale. Un calcul élémentaire de géométrie montre que leurs côtés sont égaux à $\frac{1}{3}$ de chaque diagonale rouge. Cette fois encore on passe d'un carré au suivant en multipliant le côté du plus petit par 2 et ainsi de suite pour obtenir les carrés suivants. Les aires sont encore multipliées par 4. On obtient donc encore les deux suites géométriques de raisons respectives 2 et 4.



Dans la figure ci-dessous nous mettons en évidence deux lignes rouges issues du sommet O du grand carré. Les plasticiens y verront un point de fuite avec un coefficient d'agrandissement. Les mathématiciens y voient une homothétie de centre O et de rapport 2. C'est cette homothétie qui génère plusieurs suites géométriques, les longueurs des côtés des carrés, celles des diagonales des carrés, les distances entre les milieux des carrés, etc ... Par exemple on a $OB = 2 OA$.



Cette construction n'est pas faite au hasard et répond à des règles mathématiques rigoureuses. Si ces règles ne sont pas toujours décryptées par le spectateur au premier regard, néanmoins leur présence est une évidence et la logique de création n'est pas mystérieuse. Théo Van Doesburg écrivait : *«au point de vue "forme", un seul élément suffit, par exemple le carré. le carré est un élément stable, qui doit être arithmétisé pour être animé»*⁴³. Cette prédominance de la rigueur mathématique est sous-entendue dans le manifeste de L'Art Concret⁴⁴ publié dans le numéro unique de la revue

⁴³ Théo Van Doesburg , *Abstraction et création*, p.39, cahier édité par l'association Abstraction et création, 1932, Source gallica.bnf.fr / BnF.

⁴⁴ Le Manifeste de l'Art Concret a été signé en 1930 par les artistes Otto Gustav Carlsson, Théo Van Doesburg, Jean Hélion, Léon Tutundjian et Marcel Wantz, (voir Annexe A page 271).

éponyme, *Art Concret*. L'article 4 de ce manifeste proclame : « *La technique doit être mécanique c'est-à-dire exacte, anti-impresionniste* ». Jean Hélicon désigne la pensée mathématique comme moyen d'atteindre ces objectifs, il dit :

« Elle (la pensée mathématique) devra permettre de remplacer le mode compositionnel intuitif par une méthode de construction établissant entre ses composantes des relations numériques exactes ou déduites d'un module originel. »

Il est intéressant de noter que toutes les œuvres des artistes du groupe Art Concret n'ont pas toujours été empreintes de la plus grande rigueur. Dans son article *Art Concret*⁴⁵ Arnault Pierre cite l'œuvre intitulée « *Composition dérivée de l'équation $y = -ax^2 + bx + 18$ avec vert, orange, violet* », 1930, de Georges Vantongerloo qui n'a que peu de lien avec son titre. Très rapidement le groupe de l'Art Concret laisse la place au groupe Abstraction-Création. En 1932, la préface du premier numéro de la revue éponyme, définit Abstraction-Création en ces termes :

*« Abstraction, parce que certains artistes sont arrivés à la conception de la non-figuration par l'abstraction progressive des formes de la nature. Création, parce que d'autres artistes ont atteint directement la non-figuration par une conception d'ordre purement géométrique ou par l'emploi exclusif d'éléments communément appelés abstraits, tels que cercles, plans, barres, lignes, etc... »*⁴⁶

⁴⁷.

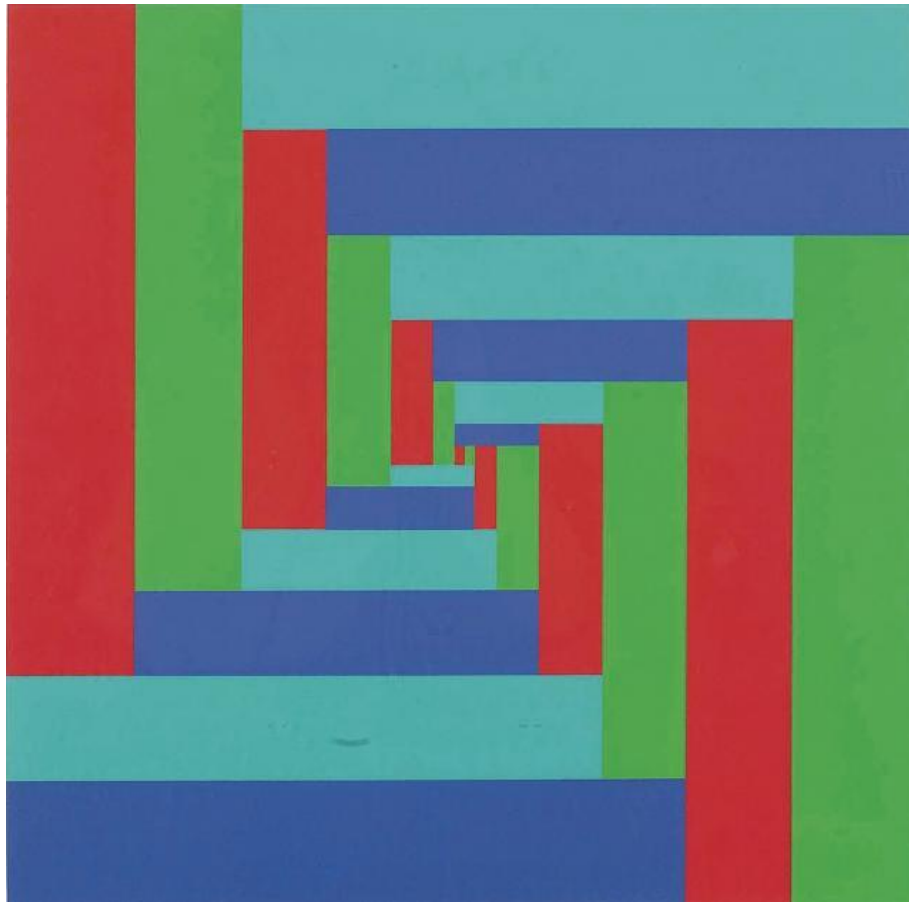
Si Jean Hélicon était un ardent défenseur de l'utilisation des mathématiques de façon rigoureuse, nous avons trouvé peu de ses œuvres reflétant cette rigueur et nous n'avons pas vu d'œuvres où les suites mathématiques apparaissent.

⁴⁵ *Art Concret*, Arnault Pierre, Encyclopédie Universalis.

⁴⁶ *L'art face à la crise: 1929-1939*, p. 338. Actes du 4e Colloque d'Histoire de l'Art Contemporain tenu à Saint-Étienne les 22, 23, 24 et 25 mars 1979, volume 26 du Centre Interdisciplinaire d'Etude et de Recherche sur l'Expression Contemporaine, Éditeur Université de Saint-Étienne, 1980.

⁴⁷ Source gallica.bnf.fr / BnF

m. **Richard-Paul Lohse**



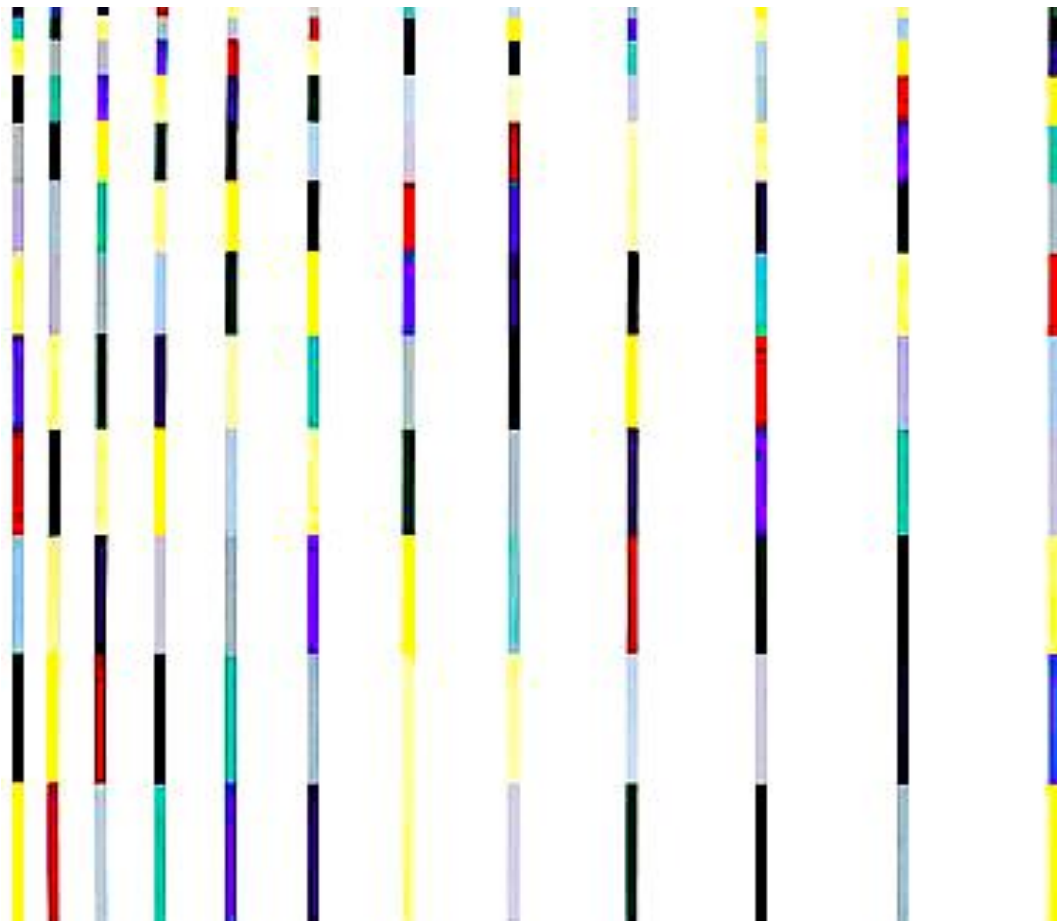
Richard-Paul Lohse, *Komposition*, sérigraphie, 41 × 41cm

Le tableau *Komposition* de Richard-Paul Lohse répond à une construction très rigoureuse. Il est constitué de rectangles dont les longueurs des côtés sont calculées avec un protocole très précis. Au centre, on a un carré de côté une unité (ce carré est partagé en deux rectangles égaux de couleurs différentes). Ensuite, autour de ce carré central on a quatre rectangles égaux de dimensions 1×4 , deux sont horizontaux (un bleu clair et un bleu foncé) et deux sont verticaux (un rouge et un vert). Les rectangles de la deuxième série ont pour dimensions 2×7 , pour la série suivante on a 3×12 , puis 4×19 , 5×22 et enfin 6×26 .

On constate que les largeurs des rectangles sont en progression arithmétique puisque respectivement égales à 1, 2, 3, 4, 5, et 6.

Pour les longueurs des rectangles la construction est la suivante, à partir de la troisième série : la longueur d'un rectangle est égale à la longueur du rectangle

précédent à laquelle on ajoute la largeur du rectangle précédent et celle du rectangle suivant. Par exemple on a $12 = 7 + 1 + 4$ et $19 = 12 + 2 + 5$, ce que l'on peut traduire par $L_n = L_{n-1} + l_{n-1} + l_{n+1}$ si (L_n) est la suite des longueurs des rectangles et (l_n) la suite des largeurs des rectangles. Le processus est interrompu à partir de la cinquième série de carrés car Richard-Paul Lohse a été limité par les dimensions de sa toile mais il aurait pu poursuivre cette construction avec le même protocole.



Richard-Paul Lohse, *12 Progressions horizontales et 12 progressions verticales*, 1943 - 44, huile sur toile.

Les compositions de Richard-Paul Lohse sont programmées, les couleurs et les formes sont numérotées et les titres font référence au protocole sous-jacent comme dans *12 Progressions horizontales et 12 progressions verticales*.

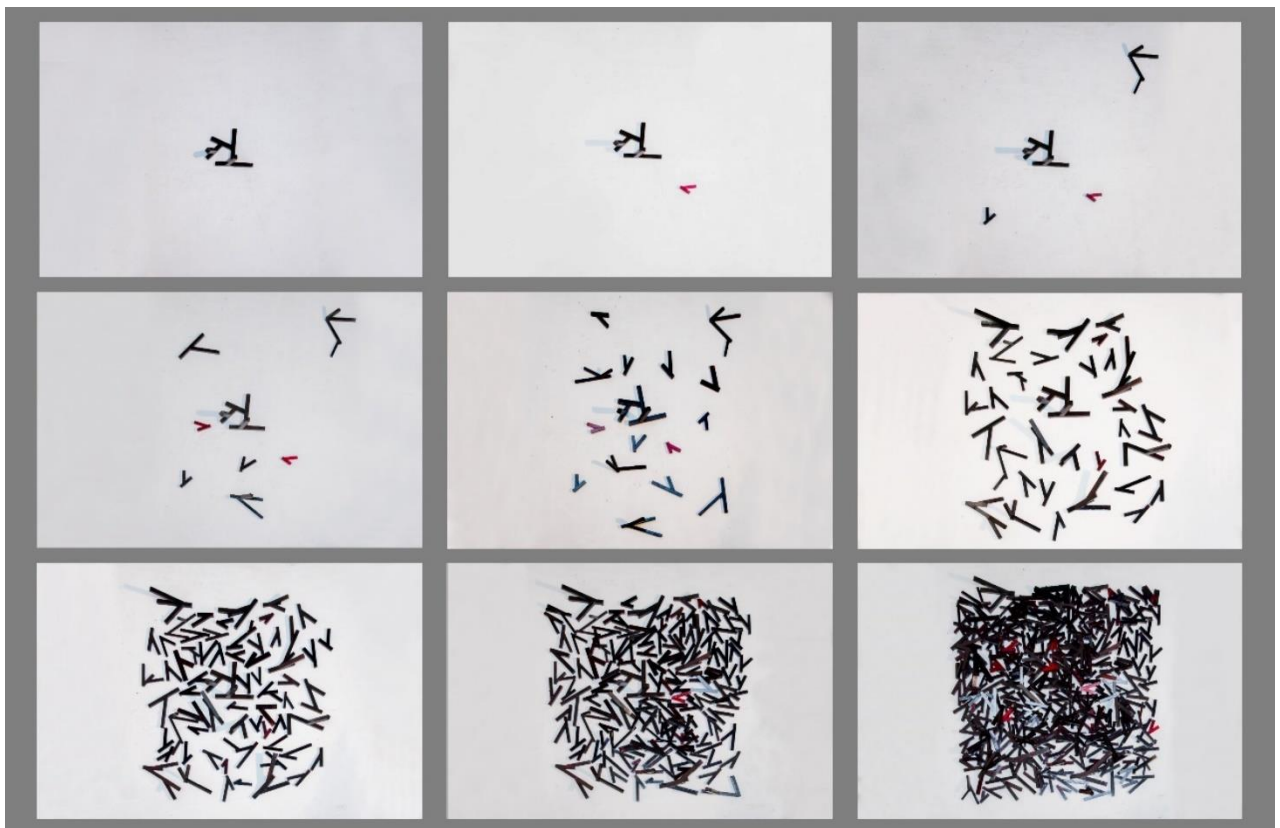
Dans cette œuvre le mot de progression est réellement utilisé dans le sens mathématique. Sur chaque ligne verticale on retrouve 12 couleurs, dans des ordres différents, mais les longueurs des segments colorés sont en progression arithmétique, c'est-à-dire que, à chaque longueur Lohse a ajouté le même nombre. De même les espaces entre les 12 lignes verticales sont en progression arithmétique. On constate d'ailleurs que la raison des deux suites arithmétiques est la même. Mais le premier terme de la suite des écarts est plus grand que le premier terme de la suite des longueurs des segments, ce qui explique, en partie, que le tableau n'est pas carré mais rectangulaire, l'autre motif étant qu'il faut également tenir compte de la largeur des lignes verticales.

L'œuvre de Lohse est en partie basée sur le principe du module ou de la série ce qui induit la présence de suites mathématiques dans ses œuvres.

Richard-Paul Lohse met donc en pratique les recommandations du manifeste de l'Art Concret en s'imposant des protocoles rigoureux que l'on retrouve dans beaucoup de ses œuvres, plusieurs de ses travaux étant basés sur des suites mathématiques.

n. Côme Mosta-Heirt

Côme Mosta-Heirt est un artiste dont la pratique est en général très éloignée des mathématiques, il travaille sur des agencements de volumes et de couleurs, sur la multiplicité. Néanmoins, en 2018, il réalise une œuvre dans laquelle il utilise une suite géométrique de raison deux. Il place d'abord un assemblage de bâtonnets, puis deux de ces assemblages, puis quatre, huit, etc jusqu'à 256. C'est un bon exemple de l'artiste qui, habituellement, n'a pas recours aux mathématiques dans sa pratique, mais qui, à un moment donné s'appuie sur un concept mathématique qui lui permet de réaliser une œuvre qui s'inscrit dans sa démarche qui consiste à assembler et disposer différents volumes.



Côme Mosta-Heirt, "De l'un à l'autre", UN/DEUX/QUATRE/HUIT/SEIZE/TRENTE-DEUX/SOIXANTE-QUATRE/CENT VINGT-HUIT/DEUX CENT CINQUANTE SIX, 2018.

o. **Claude Viallat**

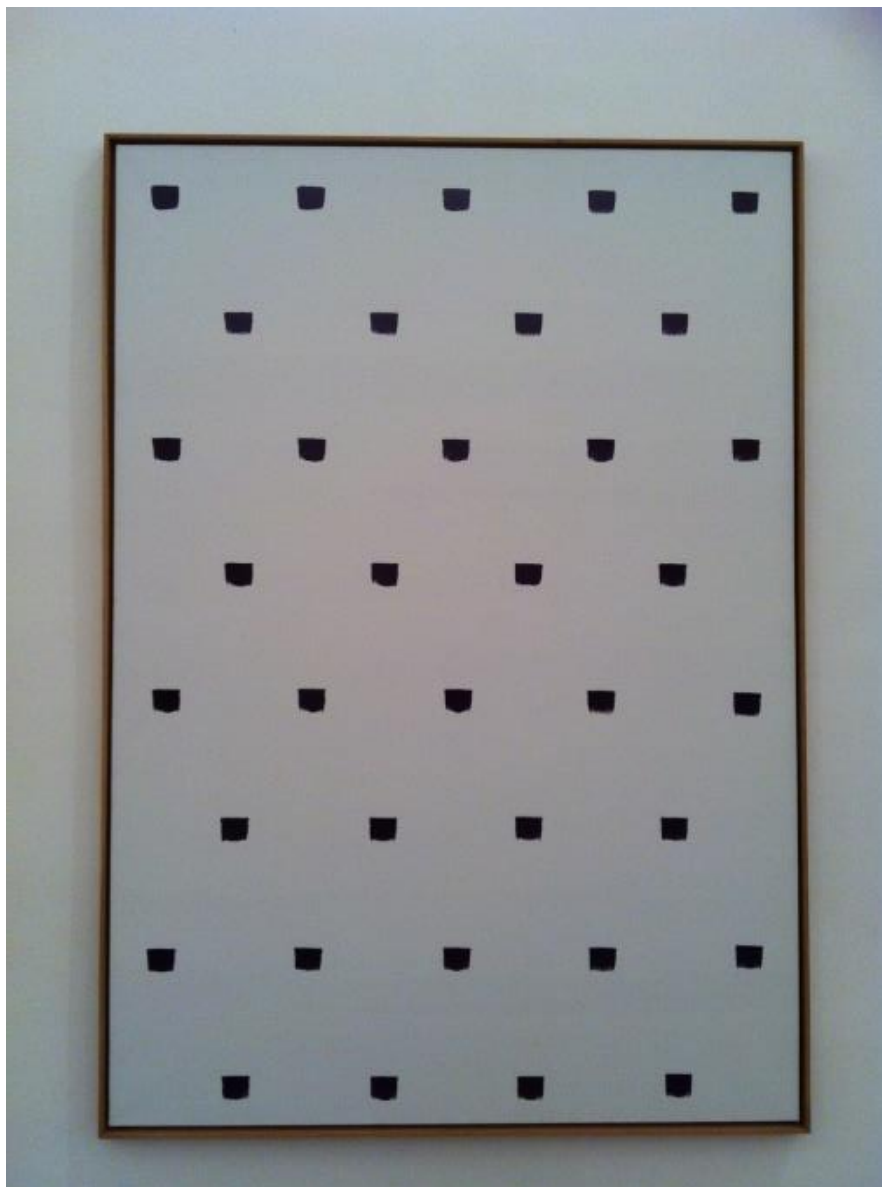


Claude Viallat, *Sans titre (n°40)*, 1968.

Claude Viallat est l'un des fondateurs du mouvement « Supports/Surfaces » dans les années 1970, mouvement qui appelle à un renouvellement de l'art par la remise en question des matériaux traditionnels. Viallat travaille sur des bâches industrielles, sur lesquelles il répète à l'infini une même forme abstraite, sorte d'osselet devenu sa signature.

Répété au pochoir sur divers supports, ce motif pose la question de la répétition d'un motif d'un point de vue artistique. Si l'on regarde une bâche de Claude Viallat avec un regard mathématique on peut y voir la présence de suites arithmétiques constantes. En effet sur une même toile tous les motifs sont identiques et de même taille. Les suites des largeurs ou des hauteurs de ces motifs constituent donc des suites arithmétiques constantes. De même les espaces entre chaque motif sont tous égaux et sont donc en progression arithmétique constante. Il est certain que Claude Viallat n'a certainement pas pensé ces compositions d'un point de vue mathématique, sa démarche était plutôt liée à l'étude de la couleur, au choix d'un support et à la recherche d'un protocole récurrent, basé sur la répétition.

p. Niele Toroni



Niele Toroni, *Empreintes de pinceau n°50 répétées à intervalles réguliers de 30 cm*, 1983.

Avec Niele Toroni on a un type de répétition, comme chez Claude Viallat, qui peut faire penser à une suite mathématique, la distance entre deux empreintes est toujours la même, donc sur chaque ligne d'empreintes on peut considérer que la suite des distances entre deux traces de pinceaux espacées régulièrement représente les termes d'une suite

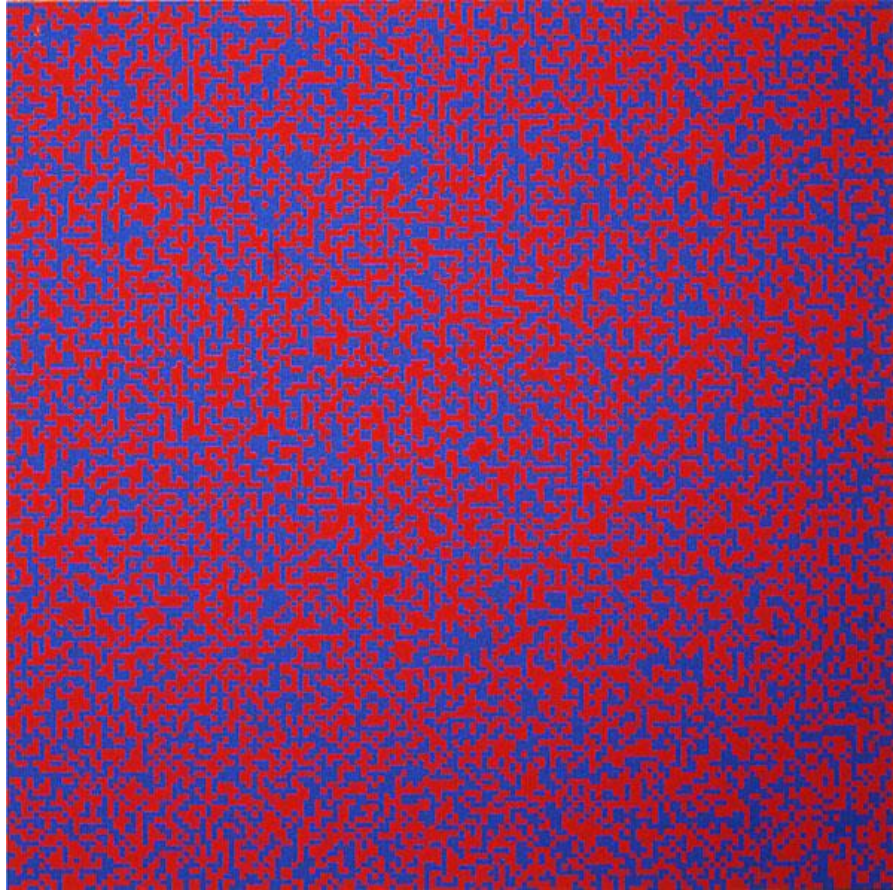
arithmétique de raison nulle, donc une suite constante, le terme u_1 étant égal à la distance entre la première et la seconde empreinte d'une même ligne, le terme u_2 étant égal à la distance entre la deuxième trace et la troisième et ainsi de suite jusqu'à la fin de la ligne. On peut également constater que les traces sont alignées sur des lignes obliques à intervalles régulier et ainsi il est possible de construire une nouvelle suite arithmétique (v_n) avec les espacements des empreintes sur ces lignes.

3) Suites aléatoires

L'utilisation de ces suites questionne le hasard et l'organisation du hasard. Nous savons que le hasard obéit à des lois mathématiques, des études statistiques effectuées sur de nombreuses issues d'un même événement, comme, par exemple jouer à pile ou face un très grand nombre de fois, montrent une tendance vers une répartition équitable du nombre d'issues lorsque ce nombre devient de plus en plus grand et tend vers l'infini. Ces constatations ont permis le calcul de probabilités qui permet d'évaluer la probabilité qu'un événement survienne. C'est cette problématique de l'organisation du hasard qui a attiré des artistes comme François Morellet et leur a permis de réaliser des expériences dont la traduction plastique s'est révélée intéressante. Nous allons étudier cinq artistes qui ont travaillé sur cette problématique, François Morellet, Gerhard Richter, Robert Filliou, Aurélie Nemours et Vera Molnar.

a. François Morellet

François Morellet est le paradigme de l'artiste qui a trouvé dans les objets mathématiques l'outil indispensable à la mise en œuvre de sa démarche et qui lui a permis de décrire sa vision de l'action de créer. Dans son œuvre «40 000 carrés » il fait le choix d'un protocole qui consiste à attribuer une couleur différente aux chiffres pairs et aux chiffres impairs d'un annuaire de téléphone. On peut remarquer que dans un tel protocole aléatoire on a affaire à un système mathématique puisque le hasard est régi par des lois mathématiques et que de nombreux éléments répartis au hasard présentent une forme d'organisation, le chaos apparent de l'aléatoire tend vers un ordre. A la fin de ce travail F. Morellet a constaté qu'il obtenait environ 20 000 carrés de chaque couleur ce qui correspond à un résultat de la théorie des probabilités, c'est-à-dire l'équiprobabilité de l'apparition de chacune des deux couleurs. La composition obtenue présente une répartition de couleurs qui semble homogène et procure à l'œil la sensation d'une certaine organisation. En 1984, F. Morellet écrit : « *J'ai toujours été passionné par le mariage de l'ordre et du désordre que ce soit l'un qui produise ou perturbe l'autre ou l'autre qui produise ou perturbe l'un* ».



François Morellet, *Répartition aléatoire de 40000 carrés suivant les chiffres pairs et impairs d'un annuaire de téléphone*, 1960, huile sur toile, 100 × 100 cm.

On peut reconnaître une structure fractale dans cette œuvre de F. Morellet. Le travail final est un grand carré et chaque partie de la représentation est encore un carré. Il y a un rapport évident du tout à la partie, une relation fractale entre chaque petit carré et l'œuvre considérée dans sa totalité. Il y a donc autosimilarité de la forme dans cette œuvre où l'intervention de l'artiste est réduite au minimum. C'est le hasard qui commande la réalisation du travail, mais un hasard qui obéit à des règles rigoureuses, on peut dire alors que l'imprévisible surgit de la rigueur. On peut ainsi constater qu'une certaine unité plastique se dégage de l'œuvre finale. L'ensemble présente à la fois une sorte d'uniformité mais en même temps le tout est fragmenté, morcelé. Là encore nous avons affaire à une œuvre qui utilise le concept de suite puisqu'il y a énumération d'une suite de chiffres, leur parité étant associée à une couleur. On peut comparer cette œuvre aux *4900 couleurs* de Gerhard Richter où l'artiste a placé au hasard 4900 carrés de couleurs différentes.

b. Gerhard Richter



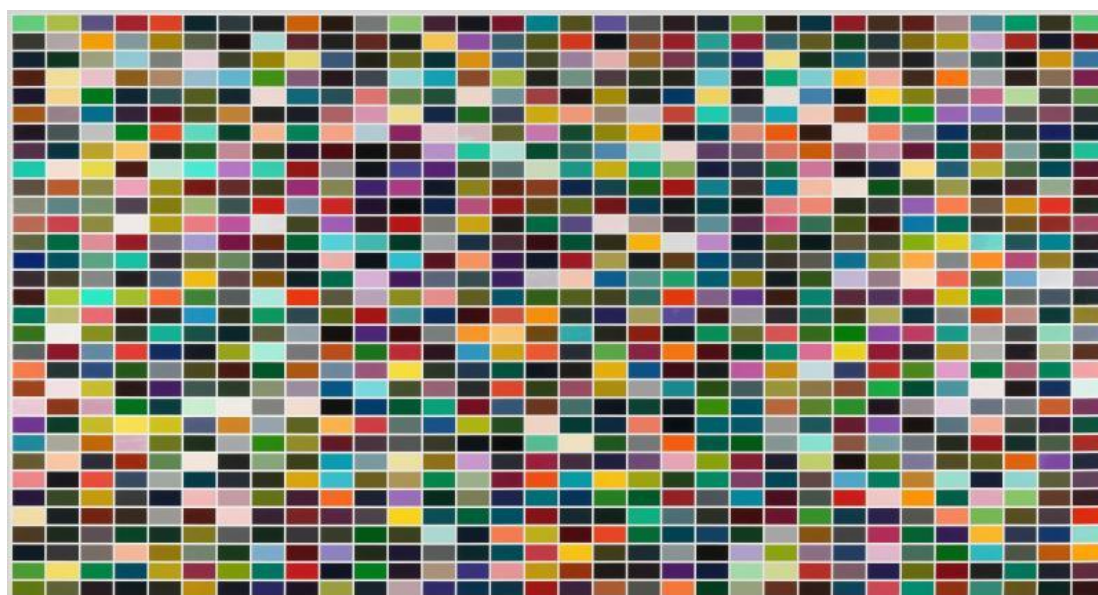
Gerhard Richter, *180 couleurs*, 1971, laque sur toile, 200 × 200 cm.

Dans cette œuvre Gerhard Richter a placé au hasard 180 carrés de couleurs différentes. Ces panneaux sont peints avec une peinture émaillée et Gerhard Richter s'inspire d'un nuancier de couleurs industrielles. Les couleurs sont séparées par une grille blanche. L'ordre des carrés colorés est décidé au hasard et a été généré de façon aléatoire, il numérote ses couleurs puis tire au hasard les numéros écrits sur des papiers, on peut donc parler ici de la suite aléatoire finie de 180 éléments. Cette œuvre s'inscrit dans toute une série de compositions allant de 10 couleurs à 1024 couleurs, les toiles étant carrées ou rectangulaires. Pour sa série des *1024 Farben* (*1024 couleurs*) il part des trois couleurs primaires et du gris, puis il les combine de

toutes les façons possibles. Il obtient ainsi $4 \times 4 = 16$ nouvelles couleurs qu'il combine à nouveau avec les quatre couleurs de départ et obtient $16 \times 4 = 64$ nouvelles nuances. Il itère le procédé et obtient ensuite $64 \times 4 = 256$ puis enfin $256 \times 4 = 1024$ nuances, au final. A propos de ce processus il dit :

« Pour pouvoir représenter sur un tableau tous les tons colorés existants, j'ai mis au point un système qui – à partir des trois couleurs primaires plus le gris – permettait une subdivision (différenciation) continue moyennant des gradations constamment égales. $4 \times 4 = 16 \times 4 = 64 \times 4 = 256 \times 4 = 1024$. Il était indispensable d'utiliser le chiffre "4" comme multiplicateur, parce que je voulais obtenir une proportion immuable entre les dimensions du tableau, les dimensions de chaque champ et le nombre de champs. Utiliser plus de 1024 tons (par ex. 4096) me paraissait absurde, car les différences d'une gradation colorée à la suivante n'auraient plus été visibles. »⁴⁸

Gerhard Richter propose ainsi toutes les nuances chromatiques que l'œil humain est capable de discerner. Il est à noter que dans cette série les éléments de base ne sont pas a priori des carrés mais plutôt des rectangles aux dimensions variables selon la taille de l'œuvre.



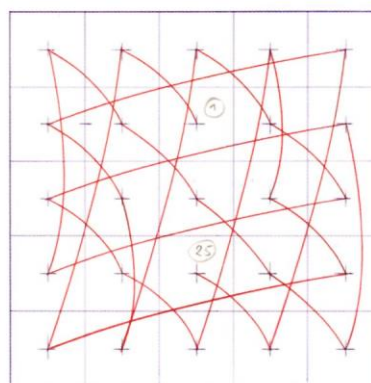
Gerhard Richter, *1024 Farben*, 1973, laque sur toile, 254×478 cm.

⁴⁸ Gerhard Richter, *Tableaux/Séries*, Notices de salles, 2014, Fondation Beyeler.

Puis en 2007 il initie sa grande série des *4900 Farben* (4900 couleurs). Il faut faire une remarque importante sur ce travail, si Gerhard Richter l'intitule *4900 Farben*, cela ne signifie pas qu'il y a 4900 couleurs différentes mais 4900 carrés colorés avec une palette de couleurs choisies au départ, qu'il limite, cette fois, à 25 couleurs différentes. Il numérote les couleurs, puis les carrés colorés sont répartis de manière aléatoire à l'aide d'un logiciel. On peut se demander pourquoi Richter a choisi seulement 25 couleurs pour cette série alors qu'il avait 1024 nuances dans la série précédente. Il justifie ce choix en disant que 25 correspond à un carré magique. Dans son texte consacré à Gerhard Richter « *The asymptote of chance* »⁴⁹, Birgit Pelzer écrit : « *Why 25 colours ? Richter affirms that this number emerged gradually : 25 corresponds to a magic square* »⁵⁰. Elle cite Gerhard Richter dans un entretien du 20 juin 2008 :

*"Dürer's Melancholy is composed of 16 squares. Mathematicians discovered this magic square of 25 which adds up to 65 in every direction" ».*⁵¹

11	24	7	20	3
4	12	25	8	16
17	5	13	21	9
10	18	1	14	22
23	6	19	2	15



Gerhard Richter, *The Magic Square and Diagram of the Sequence of Numbers in the Magic Square (Le carré magique et la suite des nombres dans le carré magique)*

⁴⁹ Brigit Pelzer, *The asymptote of chance (L'asymptote du hasard)*, in Gerhard Richter, *4900 Colours*, 2008, Serpentine Gallery.

⁵⁰ Traduction : « Pourquoi 25 couleurs ? Richter affirme que ce nombre a émergé progressivement : 25 correspond à un carré magique »

⁵¹ Traduction : "*Melancholie* de Dürer est composée de 16 carrés. Les mathématiciens ont découvert ce carré magique de 25 carrés qui a une somme magique de 65 dans toutes les directions."

Cette référence de Gerhard Richter à un carré magique d'ordre 5 est surprenante, car il ne réutilise pas cette notion dans son protocole. Il semble considérer ce carré magique de 25 éléments comme exceptionnel alors qu'il aurait pu choisir un carré de 16, 49, 64 ou tout autre nombre égal à n^2 avec n entier naturel. D'autre part, on peut noter qu'il existe un très grand nombre de carrés magiques d'ordre 5, l'Américain Richard Schroepel a trouvé en 1973 qu'il en existait 275 305 224. Celui qu'évoque Gerhard Richter se construit facilement par un procédé mis en place par Claude-Gaspard Bachet Méziriac en 1612, ce procédé permettant une construction de carrés magiques d'ordre impair avec la méthode du damier crénelé. En fait, Gerhard Richter se contente de placer les 25 couleurs qu'il a choisies dans un carré et de les numéroter de 1 à 25 sans former un carré magique.

1	3	6	10	15
2	5	9	14	19
4	8	13	18	22
7	12	17	21	24
11	16	20	23	25

Gerhard Richter,
The 25-Colour for 4900 Farben.

Ensuite lorsqu'il compose la version I de sa série *4900 Farben* il fait un tirage aléatoire de ces 25 couleurs en acceptant les répétitions. Il réalise ainsi 196 panneaux (ou dalles) de 25 carrés chacun, ce qui lui permet en les assemblant d'obtenir 4900 carrés colorés au total. Il serait intéressant de savoir si parmi ces 196 dalles on retrouve le carré magique évoqué ci-dessus. Si Gerhard Richter a uniquement fait appel au hasard, la probabilité de l'obtenir est très faible car il y a 25^{25} (soit environ $8,88 \cdot 10^{34}$) façons de construire ces dalles avec ce protocole.

Il réalise au total 11 versions différentes dans cette série. Il continue ainsi la création d'autres versions jusqu'à la version XI. Pour chaque version il y a un certain nombre de dalles carrées, le point commun entre chaque version étant que le nombre total de

carrés en réunissant toutes les dalles est toujours de 4900 carrés colorés. Pour décrire ce protocole nous pouvons parler de suites mathématiques puisque, pour chaque tableau G. Richter réalise un tirage au sort de l'ordre des différents carrés colorés, on est donc bien dans le cadre de suites mathématiques aléatoires.

J'ai présenté ces différentes versions de la série *4900 Farben* dans un tableau Excel afin de comparer leur mode de conception.

Gerhard Richter, 4900 Farben						
Version	Nombre de dalles	côté de chaque dalle en cm	Nombre de carrés sur chaque côté	Nombre de carrés sur chaque dalle	Nombre total de carrés	
I	196	48,5	5	25	4900	4900
II	49	97	10	100	4900	
III	20	145,5	15	225	4500	4900
	1	194	20	400	400	
IV	12	194	20	400	4800	4900
	1	97	10	100	100	
V	7	242,5	25	625	4375	4900
	1	194	20	400	400	
	1	97	10	100	100	
	1	48,5	5	25	25	
VI	5	291	30	900	4500	4900
	1	194	20	400	400	
VII	4	339,5	35	1225	4900	4900
VIII	3	388	40	1600	4800	4900
	1	97	10	100	100	
IX	2	436,5	45	2025	4050	4900
	1	242,5	25	625	625	
	1	145,5	15	225	225	
X	1	533,5	55	3025	3025	4900
	3	242,5	25	625	1875	
XI	1	679	70	4900	4900	4900

On constate que le nombre de carrés colorés sur le côté d'une dalle est toujours un multiple de 5, c'est-à-dire que ce sont des termes de la suite arithmétique de premier terme 5 et de raison 5. Il utilise tous ces termes en commençant par 5 pour la version I et en terminant par 70 pour la version XI. Néanmoins il y a trois termes qu'il n'utilise pas, ce sont les nombres 50, 60 et 65.

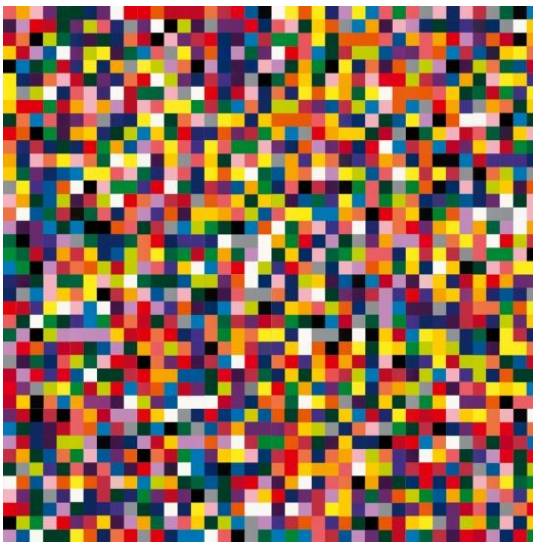
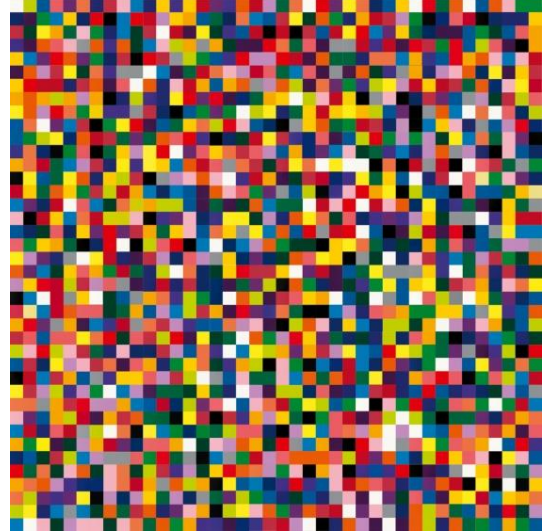
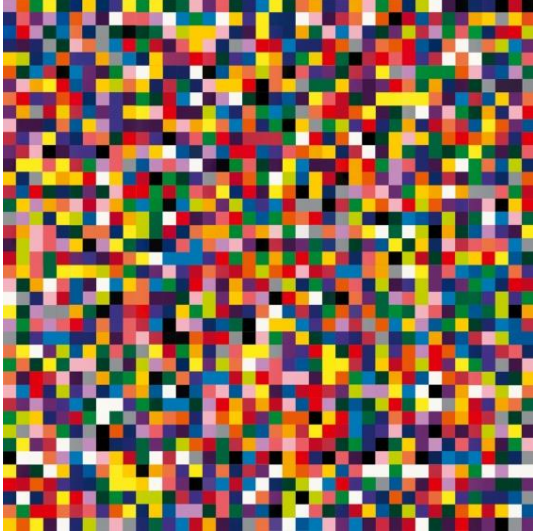
Il est intéressant de remarquer que pour plusieurs séries toutes les dalles n'ont pas la même dimension, par exemple dans la série V il y a quatre dimensions différentes. Par contre, dans les séries I, II, VII et XI une seule taille de dalles, ce qui permet, en juxtaposant ces dalles de reconstituer un grand carré. Par exemple la version VII est constituée de 4 panneaux de 1225 carrés chacun mesurant 339.5 cm de côté. Il a donc $4! = 24$ possibilités⁵² d'assembler ces panneaux pour former un grand carré de 679 cm de côté avec 4900 carrés colorés.

Si Gerhard Richter introduit des dalles de tailles différentes c'est pour respecter le protocole qu'il s'est imposé, c'est-à-dire obtenir au total 4900 carrés colorés. Par exemple dans la série VIII il y a 4 dalles dont trois de la même taille. Les trois dalles identiques ont 40 carrés colorés sur chaque côté donc 1600 carrés au total. Or 4900 n'est pas un multiple de 1600 (3 fois 1600 est égal à 4800), il lui a donc fallu rajouter une dalle de 100 carrés soit 10 carrés colorés de côté.

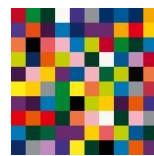
Il a rencontré le même problème dans les versions III, V, VI, VII, IX et X. Il a donc à chaque fois été obligé d'avoir des dalles de dimensions différentes pour atteindre le total de 4900 carrés colorés.

Cette série utilise donc un protocole très rigoureux qui fait appel sur le plan mathématique à la notion de suites et au dénombrement.

⁵² Factorielle 4 est le nombre noté 4! qui est égal à $1 \times 2 \times 3 \times 4$ soit 24.



Gerhard Richter,
*4900 Farben, (4900
couleurs), Version VIII.*





Gerhard Richter, *4900 Farben*, (4900 Couleurs), 1974, huile sur toile, 679 × 679 cm,
Version XI.

b. Robert Filliou



Robert Filliou, *Eins, Un, One, ...*, 1984.

Cette installation de Robert Filliou est constituée de 16 000 dés lancés au hasard sur le sol. Ils portent tous le chiffre 1 sur toutes les faces. Ici le hasard ne porte pas sur la répartition des nombres écrits sur les faces mais sur la taille des dés ainsi que sur leurs couleurs. Les dés sont plus ou moins grands et sont de couleurs différentes. Comme dans *4900 Farben* de Gerhard Richter il y a une recherche de la répartition du hasard.

L'œuvre de Robert Filliou a été exposée dans l'exposition « Par hasard » qui a eu lieu à Marseille au Centre de la Vieille Charité du 18 octobre 2019 au 23 février 2020. Cette installation se trouvait dans la même pièce que le tableau de Gerhard Richter, *4900 Farben (4900 couleurs)*, et la mise en perspective de ces deux œuvres était intéressante. Cette exposition était consacrée au hasard dans l'art. Pour les artistes il y a plusieurs façons d'aborder cette notion, soit ils ont recours à des gestes intuitifs, non programmés et laissent la surprise s'inviter dans le résultat de l'acte de création, comme Robert Filliou dans l'œuvre évoquée ci-dessus. Soit, comme beaucoup d'artistes l'ont expérimenté au XXème siècle, ils s'appuient sur un hasard dont ils programment le protocole et obtiennent ainsi une œuvre qui traduit le concept mathématique de hasard.

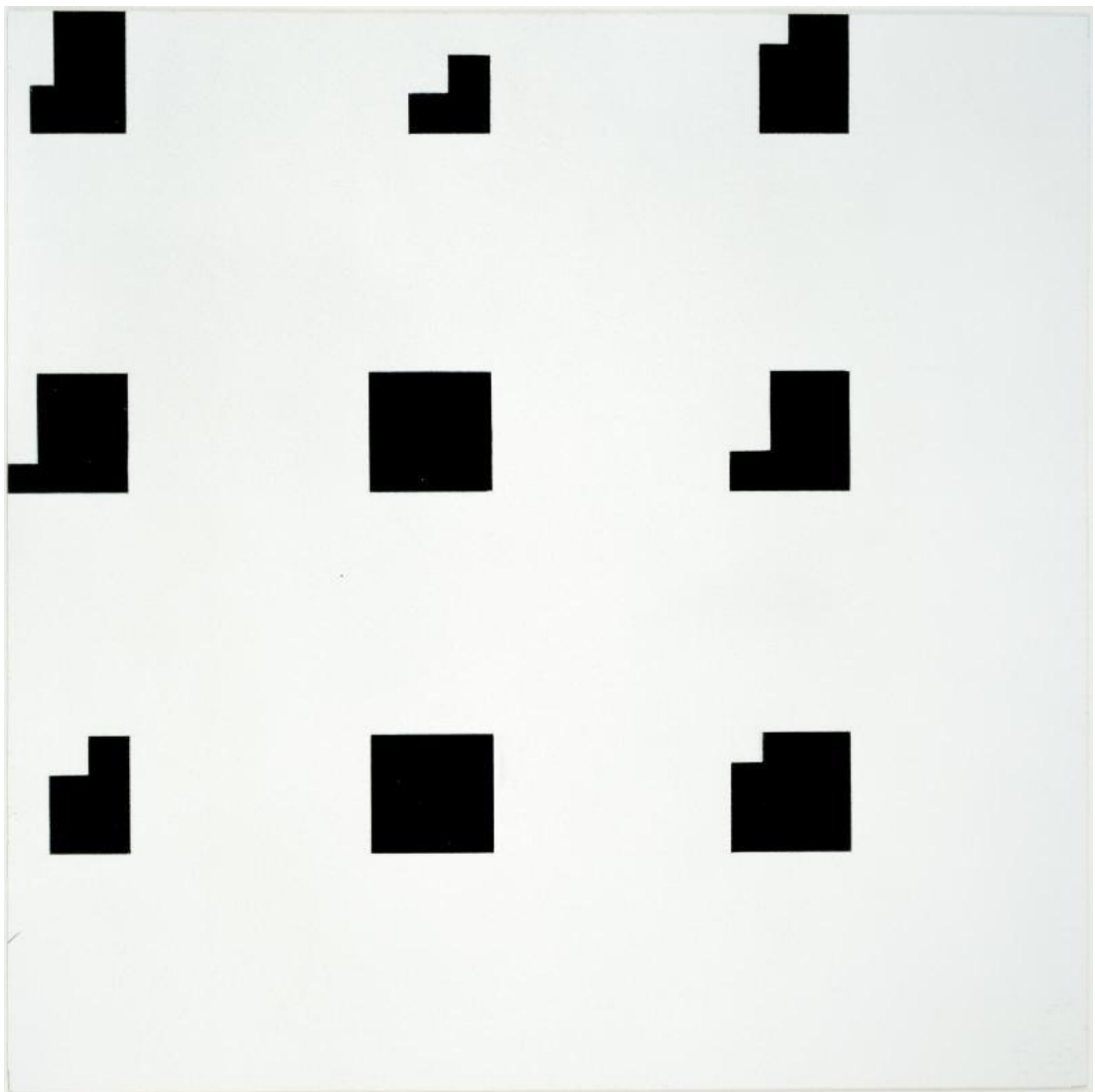


Gerhard Richter, *4900 Farben*, 2007 et Robert Filliou, *Eins, Un, One*, 1984, à l'exposition « Par hasard ».

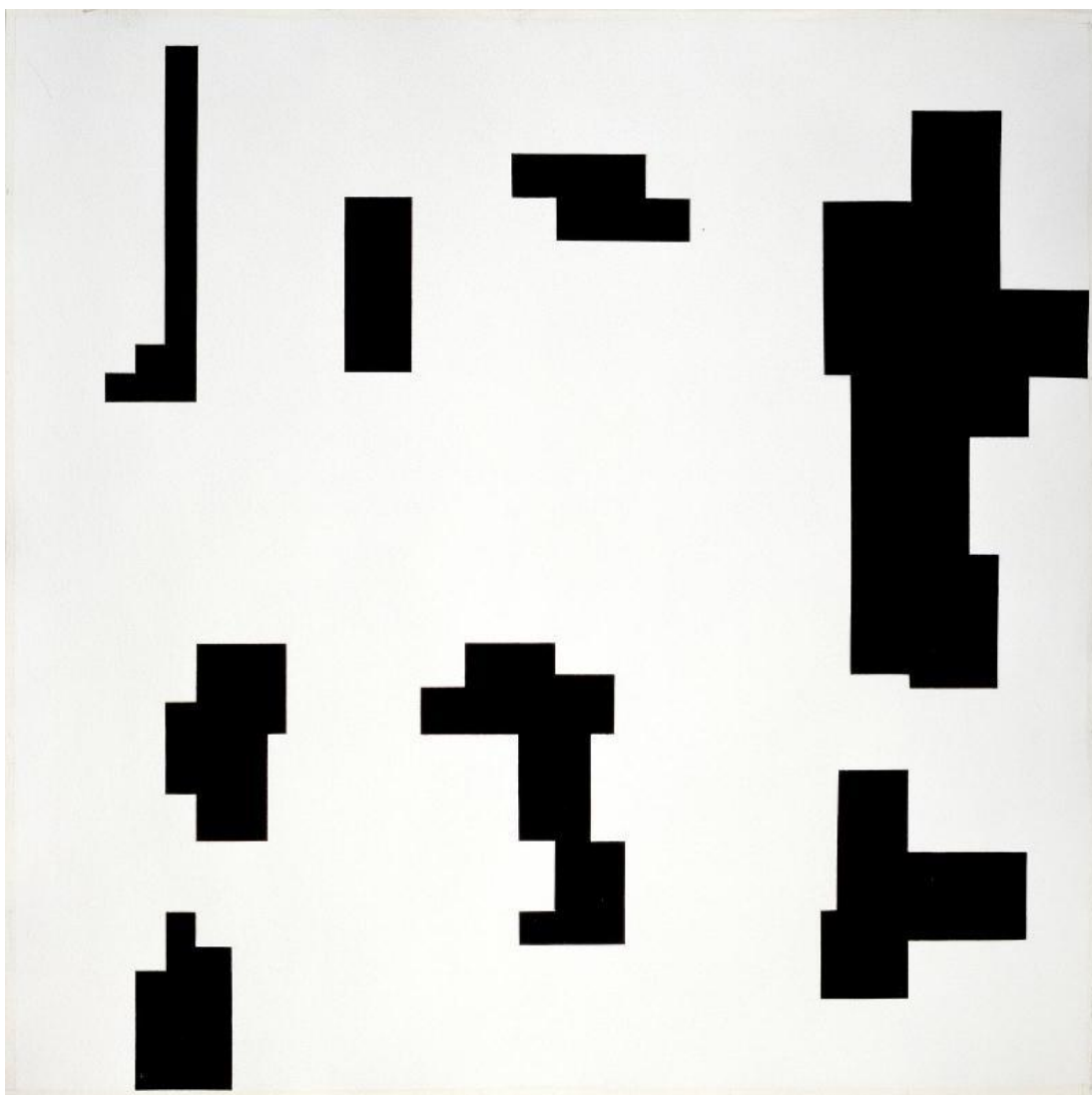
Il est peut-être plus difficile de retrouver la notion de suite mathématique dans cette œuvre de Robert Filliou, car les dés se retrouvent au sol sans qu'un ordre dans leur emplacement soit possible à mettre en évidence. La principale analogie que l'on puisse faire avec le travail de Gerhard Richter est le recours au hasard.

c. Aurélie Nemours

Aurélie Nemours (1910-2005) est une artiste française dont l'œuvre tourne autour de l'abstraction géométrique. Progressivement elle élimine la courbe puis l'oblique et ne garde que l'horizontale et la verticale. Elle réduit la couleur au noir et au blanc. Dans sa série « Nombre et hasard » elle associe des nombres tirés au hasard à des formes géométriques. Elle utilise donc des suites mathématiques aléatoires pour composer ses tableaux.

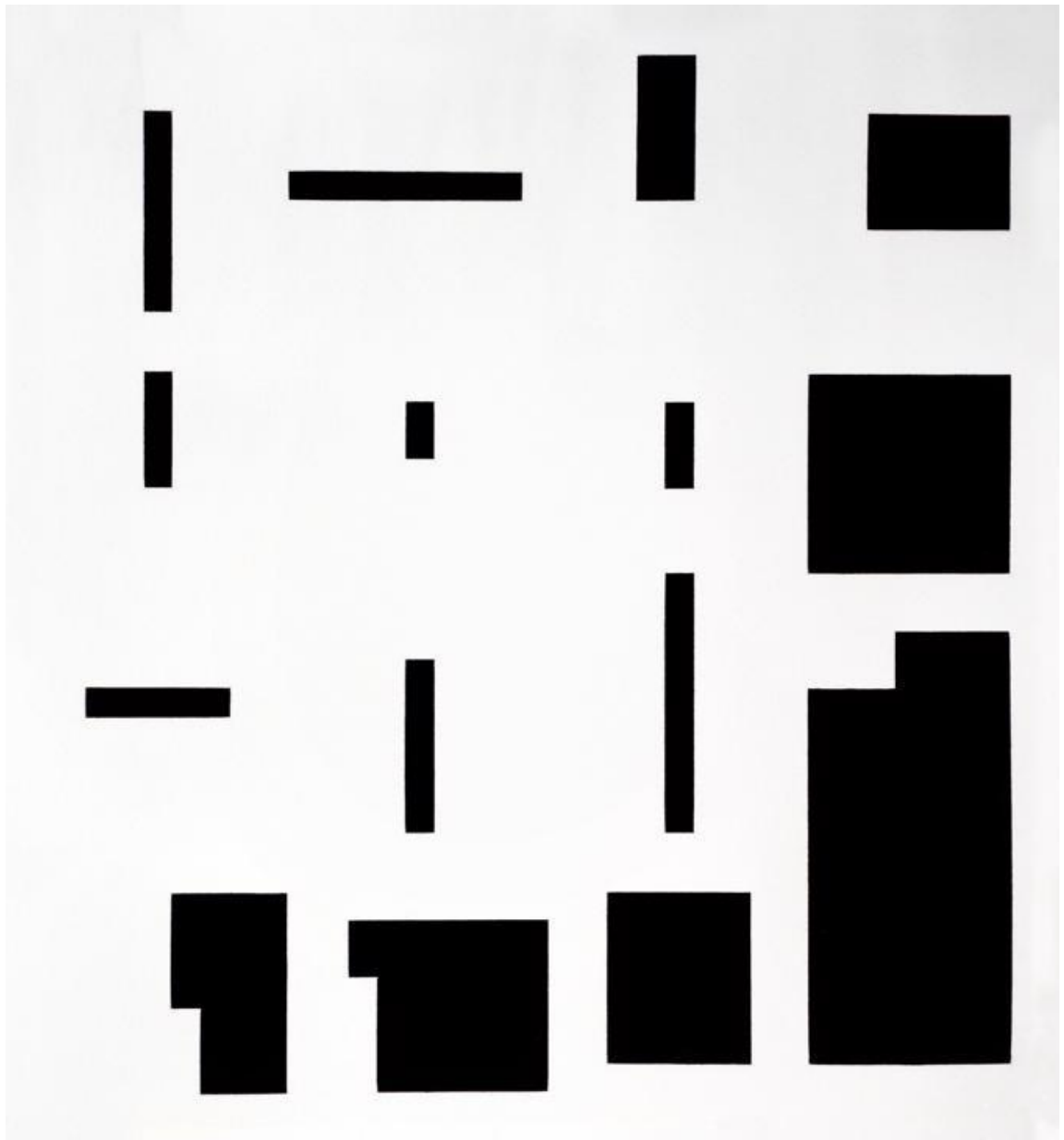


Aurélie Nemours, *Nombre et hasard*, (V68), 1991, peinture vinylique sur papier



Aurélie Nemours, *N + H 917*, 1992, huile sur toile, 120 × 120 cm.

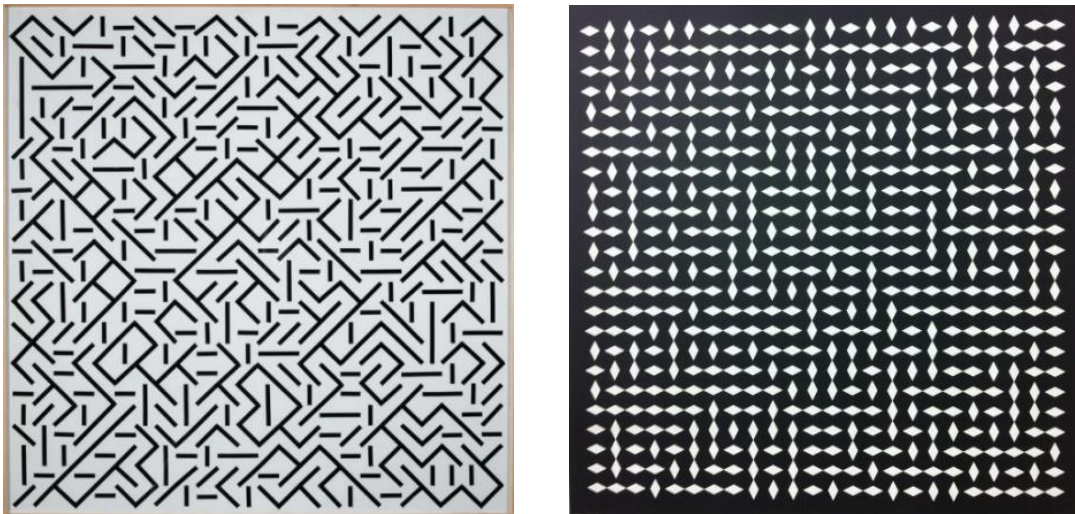
Aurélie Nemours définit sa peinture géométrique abstraite de la façon suivante : «*Ce qui est avant la forme, c'est le rythme dont le nombre est le secret*». Sa série de peintures «*Nombre et hasard* » est un aboutissement de toutes ses recherches, entre la contrainte et la liberté.



Aurélie Nemours, *Nombre et hasard*, (V 139), 1991, peinture vinylique sur papier, 36,9 × 33,6 cm.

e. Vera Molnar

Vera Molnar, artiste d'origine hongroise, est un des précurseurs de l'art numérique et de l'art algorithmique. Son travail a un double lien avec la problématique des suites et séries. En effet, on peut dire que son travail est sériel au sens artistique du terme car elle répète sans relâche ses recherches sur les mêmes thèmes comme les carrés concentriques, figures auxquelles elle apporte des variations aléatoires ou programmées. D'autre part, la construction de certaines de ses œuvres fait appel à la notion de suites mathématiques car ses suites de formes élémentaires ont une construction programmatique qui en font des suites logiques qui sont pour la plupart des suites aléatoires. Son travail peut faire penser aux recherches d'Aurélien Nemours sur l'introduction de l'aléatoire dans son processus de création.



Vera Molnar, *Quatre éléments distribués au hasard*, 1959 et *Losange sur fond noir*, 2011, Acrylique sur toile, 80 × 80 cm.

4) Autres suites de nombres

Dans cette catégorie nous allons trouver la suite des décimales de pi, celle des décimales de e , la suite des nombres premiers et des suites quelconques de nombres.

a. François Morellet

Dans une de ses œuvres François Morellet fait intervenir une suite numérique définie selon un protocole bien précis, la suite des décimales de pi.



François Morellet, *6 répartitions aléatoires de 4 carrés noirs et blancs d'après les chiffres pairs et impairs du nombre Pi*, 1958, huile sur bois, six fois 80 × 80 cm.

Dans cette œuvre François Morellet fait deux choix. Tout d'abord, représenter les 24 premiers chiffres de l'écriture décimale du nombre π , ($\pi \approx 3,14159265358979323846264$), puis décider d'associer un carré noir à tout chiffre pair et un carré blanc à tout chiffre impair. Enfin il répartit ces carrés noir et blanc sur 6 carrés quatre fois plus grands.

Voici la répartition de ces chiffres dans les six carrés de quatre cases chacun, les chiffres pairs sont en rouge.

3	1	5	9	5	3	9	7	2	3	6	2
4	1	2	6	5	8	9	3	8	4	6	4

F. Morellet donne pour titre à cette œuvre « *6 répartitions aléatoires de 4 carrés noirs et blancs d'après les chiffres pairs et impairs du nombre Pi* ». Dans ce titre l'adjectif « aléatoire » ne s'applique pas à la répartition des carrés puisque c'est un protocole très précis, déterminé à l'avance, qui permet de placer chacun de ces carrés

noir et blanc à un endroit unique. En fait c'est le choix du nombre π qui est aléatoire, F. Morellet aurait pu tout aussi bien choisir, par exemple, le nombre e (base des logarithmes népériens) qui est également un nombre irrationnel qui joue un grand rôle en mathématiques. F. Morellet parle de « décisions subjectives » dans son travail, il semble donc qu'il associe ces choix subjectifs à une forme de hasard.

En quoi cette œuvre se rattache-t-elle à notre problématique sur les suites mathématiques dans l'art ? En mathématiques une suite est une famille d'éléments indexés par les entiers naturels, c'est-à-dire « numérotés ». A partir du moment où les termes choisis sont les chiffres de l'écriture du nombre π , ils se succèdent dans un ordre donné et ainsi l'on a construit la suite numérique définie par $u_1 = 3, u_2 = 1, u_3 = 4, u_4 = 1, u_5 = 5, \dots, u_{23} = 6, u_{24} = 4, \dots$ jusqu'à l'infini, mais F. Morellet n'en représente que les vingt-quatre premiers termes. Cette suite n'est pas récurrente car il est impossible de déterminer par une formule la valeur du terme u_n de rang n . C'est certainement aussi en ce sens que François Morellet qualifie cette répartition d'aléatoire, puisqu'il est impossible de prévoir la valeur d'un terme de rang quelconque par l'application d'une formule, cette connaissance des termes de la suite ne pouvant se faire que grâce à un calcul utilisant une succession d'approximations du nombre π et ne pouvant être réalisé qu'à l'aide d'un programme informatique. François Morellet utilise les suites mathématiques car c'est un des outils qui lui permettent de mettre en pratique sa théorie sur la création de ses œuvres, où la subjectivité doit être la moins présente possible, ce qu'il réalise en mettant en place des protocoles faisant intervenir un nombre minimum de choix.

Une fois la suite numérique définie, il a fait le choix plastique d'utiliser des carrés pour illustrer les termes de la suite. Sur le choix récurrent de carrés dans ses œuvres, il s'en explique dans un entretien avec Laurent Salomé, en 2011, lorsqu'il parle de : « *l'émotion mystérieuse que peuvent provoquer carrés, points ou tirets* », il ajoute :

« C'est une sacrée question ! Cette émotion je l'éprouve, bien sûr, malgré mon incapacité à comprendre précisément le pourquoi et le comment [...] Il n'empêche que lorsqu'un carré conçu pour ne rien dire provoque une

« émotion mystérieuse », c'est pour le moins qu'il a été vu au bon endroit au bon moment par un bon visiteur ». ⁵³

Pour lui, le carré est la figure qui ne fait intervenir qu'un seul choix subjectif, la longueur de son côté. En 1980 il écrit : « *J'ai choisi le carré parce que c'est une figure qui n'est définie que par une seule décision arbitraire (au lieu de deux pour un rectangle)* ».

François Morellet répond à un certain nombre de questions sur son travail dans ses écrits « *Mais comment taire mes commentaires* » ⁵⁴. Il décrit sa démarche artistique comme la recherche de systèmes, il qualifie son travail d'« *art systématique* ». Il explique qu'il veut faire un nombre minimal de choix lorsqu'il réalise une œuvre. Il est le paradigme de l'artiste qui a trouvé dans les objets mathématiques l'outil indispensable à la mise en œuvre de sa démarche et qui lui a permis de décrire sa vision de l'action de créer. En 1957, dans une lettre qu'il adresse à Victor Vasarely, il écrit :

« *Je pense [...] que la peinture « géométrique », grâce aux moyens clairs, contrôlables et constants qu'elle emploie, peut aider à analyser les principes de « l'art » et à prouver éventuellement son existence* ». ⁵⁵

"*J'essaie de mettre le moins possible de moi-même dans ces œuvres, le moins de décisions subjectives. Mon message, c'est de dire qu'il n'y a pas de message.*" Dira-t-il à l'occasion de l'exposition Réinstallations à Beaubourg en 2011.

François Morellet est un artiste qui a toujours été attiré par les mathématiques et ses œuvres témoignent indiscutablement de cet attrait. Ce qu'il y a d'étonnant avec des œuvres comme celles de F. Morellet, c'est qu'elles donnent à voir, au sens propre, des notions mathématiques qui existent à un niveau conceptuel, sans les trahir. Voir

⁵³ Serge Lemoine, *François Morellet*, Entretien avec Laurent Salomé p.188, Paris, Flammarion, 2011.

⁵⁴ François Morellet, *Mais comment taire mes commentaires*, Ecole nationale supérieure des beaux-arts, Paris, 1999.

⁵⁵ *Ibid*, Lettre à Victor Vasarely, p.9.

π , en visualisant à la fois son aspect infini et son aspect non périodique est enrichissant pour le mathématicien qui ne l'a jamais appréhendé de cette façon.

Il a repris ce thème de la suite des décimales de pi dans plusieurs œuvres, par exemple avec « pi piquant » où il part d'un segment d'une longueur donnée. Il articule ensuite ce premier segment avec une suite de segments tous de même longueur et formant avec le segment précédent un angle dont la mesure est un terme de la suite : 30° , 10° , 40° , 10° , 50° , 90° , etc ... correspondant à la suite 3, 1, 4, 1, 5, 9, ... des décimales de π . Il obtient ainsi une ligne brisée qui, au premier regard, peut paraître totalement aléatoire mais qui correspond à une construction rigoureuse des décimales de π .



François Morellet, *pi piquant*, 1999, travail sur papier, 60 × 60 cm.

b. Anatoli Fomenko

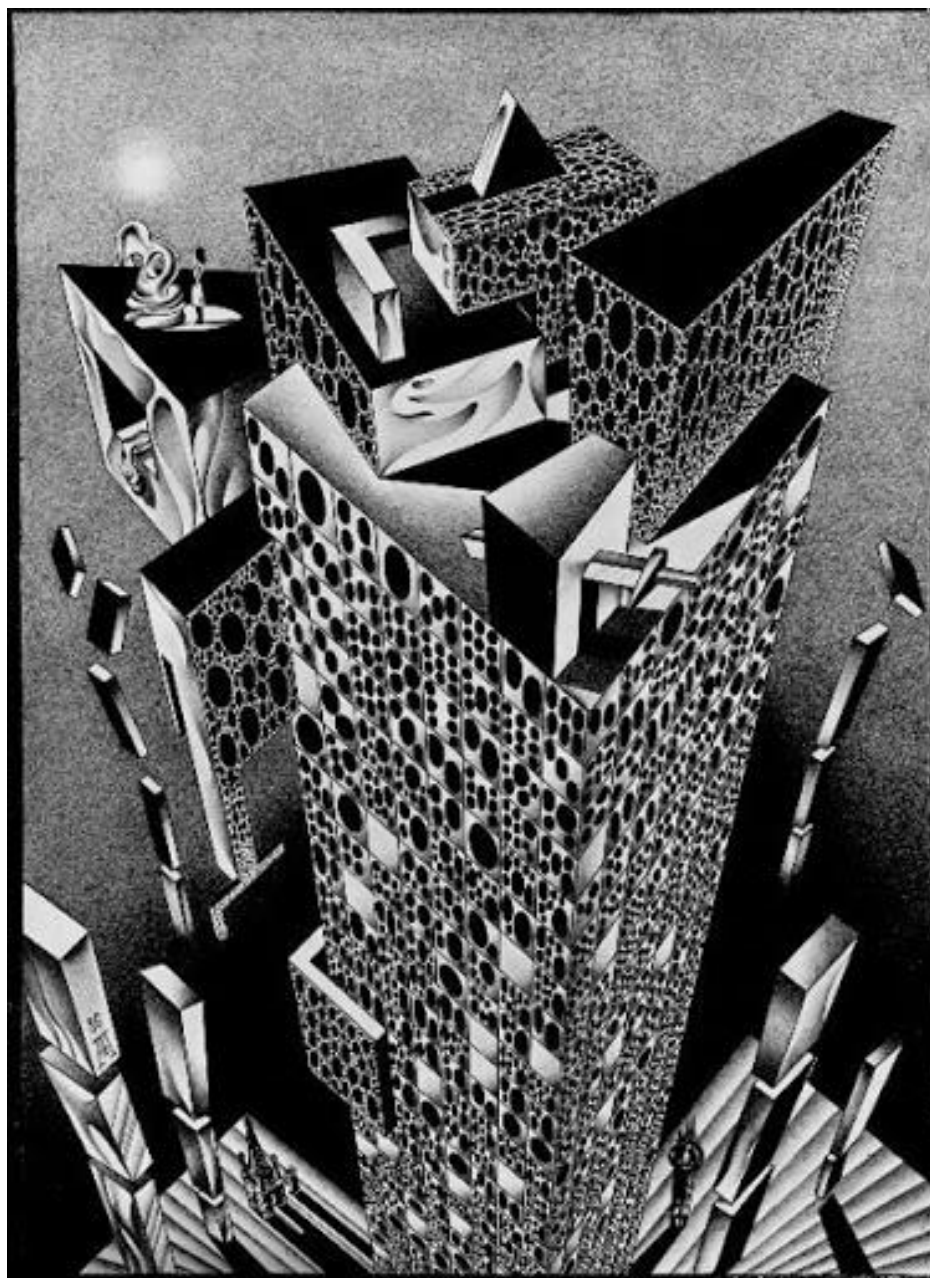
Anatoli Fomenko est un mathématicien russe né en Ukraine en 1945, il enseigne la géométrie différentielle à l'Université de Moscou. A côté de son activité de mathématicien il a réalisé plus de 280 œuvres artistiques qui ont fait l'objet de nombreuses expositions en Amérique du Nord et en Europe. Nous avons hésité à citer cet artiste au regard de ses propos très dérangeants sur une révision de la chronologie, que nous estimons sans fondement scientifique. Si certaines de ses œuvres ont un contenu mystico-surréaliste, il nous est néanmoins apparu intéressant d'évoquer son travail plastique en lien avec les mathématiques et en particulier son travail sur les suites mathématiques. En effet, il est le seul, parmi les artistes que nous avons évoqués, à avoir utilisé la suite des décimales du nombre irrationnel e , alors que c'est essentiellement la suite des décimales du nombre π que l'on retrouve dans des œuvres plastiques. Rappelons que le nombre e est la base des logarithmes népériens, c'est-à-dire qu'il vérifie $\ln(e) = 1$. Les deux nombres π et e sont des nombres irrationnels transcendants, c'est-à-dire qu'ils ne sont racines d'aucun polynôme à coefficients entiers.

Il cherche à traduire des concepts mathématiques au travers d'œuvres graphiques. Il dit : « *Beaucoup de mes œuvres graphiques sont basées sur des concepts mathématiques et des théorèmes, ils représentent de véritables processus physiques et des concepts mathématiques importants* ». Parmi ces concepts nous trouvons des suites mathématiques. Dans l'une de ses œuvres, réalisée en 1986, *Babel en dominos*, nous pouvons voir de gauche à droite et de haut en bas sur le mur gauche de la tour, le développement décimal de $\pi \approx 3,14159265$, qui se lit à travers le nombre de disques noirs sur chaque domino. Le développement décimal de $e \approx 2,7182818 \dots$, se lit pareillement sur le mur droit de la tour. La tour s'étend à l'infini vers le bas. Cette œuvre (n°242 du catalogue)⁵⁶ témoigne de la fascination exercée par les nombres irrationnels. Le calcul des décimales de ces nombres, leur distribution d'apparence aléatoire restent des sujets d'étude. La tour semble

⁵⁶ Anatoliï Fomenko with the writing assistance of Richard Lipkin, *Mathematical Impressions*, the American Mathematical Society, 1980.

s'étendre à l'infini vers le bas ce qui permet de sous-entendre le développement infini de ces décimales.

Ici, nous sommes face à un mathématicien qui utilise ses connaissances mathématiques pour créer des œuvres alors que la plupart des artistes étudiés précédemment vont rechercher ces notions pour définir les protocoles qui interviennent dans leurs créations plastiques.



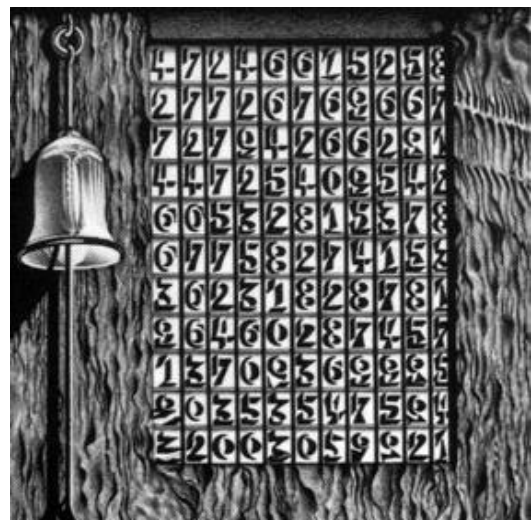
Anatoliï Fomenko, *The remarkable numbers pi and e, I*, 1986, encre de Chine et crayon sur papier, 32 × 44 cm.



Anatoly Fomenko, *Anti-Dürer*, 1975, encre de Chine et crayon sur papier, 44 × 62 cm.

Dans son œuvre *Anti-Dürer*, Anatoly Fomenko s'inspire de la gravure *Melancholia*, d'Albrecht Dürer. Il est intéressant de remarquer qu'il a remplacé le carré magique de Dürer par un carré de côté 11, donc de 121 cases, dans lequel il fait figurer les décimales du nombre irrationnel e . J'ai réalisé le croquis ci-dessous qui montre la construction de ce carré qui, dans la gravure, apparaît comme un rectangle car les cases représentées par Anatoly Fomenko ne sont pas carrées mais rectangulaires.

4	7	2	4	6	6	1	5	2	5	8
2	7	7	2	6	7	6	9	6	6	7
7	2	7	9	4	2	6	6	2	9	1
4	4	7	2	5	4	0	9	5	4	2
6	0	5	3	2	8	1	5	3	7	8
6	7	7	5	8	2	7	4	1	5	3
3	6	2	3	1	8	2	8	7	8	1
9	6	4	6	0	2	8	7	4	5	7
1	3	7	0	9	3	6	9	9	9	5
9	0	3	5	3	5	4	7	5	9	4
3	2	6	6	3	6	5	9	9	2	1



Il enroule les décimales du nombre e en partant du centre du carré et en tournant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Il faut noter qu'il y a une erreur dans cette suite, A. Fomenko a placé un 8 au lieu d'un 9 à l'endroit que nous avons marqué d'une pastille rouge.

Notons également que cette œuvre a été réalisée en 1975 et que, à cette époque, on ne connaissait que, environ 100 000 décimales du nombre e alors que le 3 janvier 2019, 8 000 000 000 000 de ces décimales étaient connues.

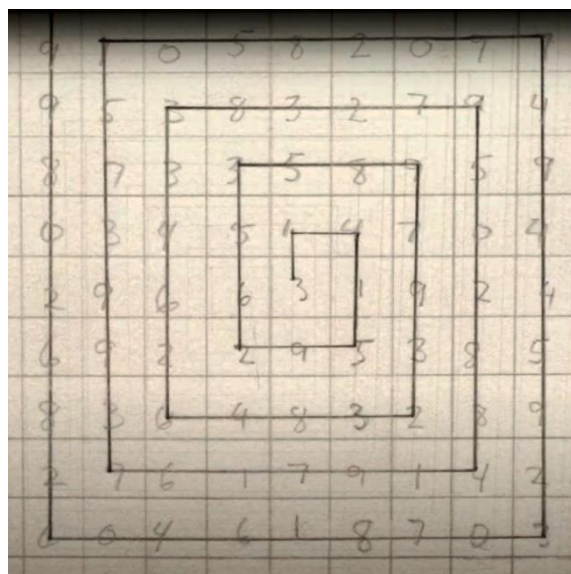
b. John Sims

John Sims est un artiste américain qui utilise les mathématiques comme support de son œuvre plastique. Le nombre pi est présent dans plusieurs de ses œuvres.



John Sims, *Seeing Pi*, 2006, 8' × 8', coton.

Pendant une longue période il a réalisé ses compositions sous forme de quilt, cousant ainsi ensemble des carrés de tissu colorés. Il associe des couleurs à chaque chiffre entre 0 et 9, puis il dispose ses carrés en partant du centre et en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre pour respecter l'ordre des décimales de π , comme le montre le croquis ci-dessous réalisé par John Sims lui-même.



John Sims, *Pi in black and white*, 2008, 8' x 8', coton.

c. Arlène Stamp

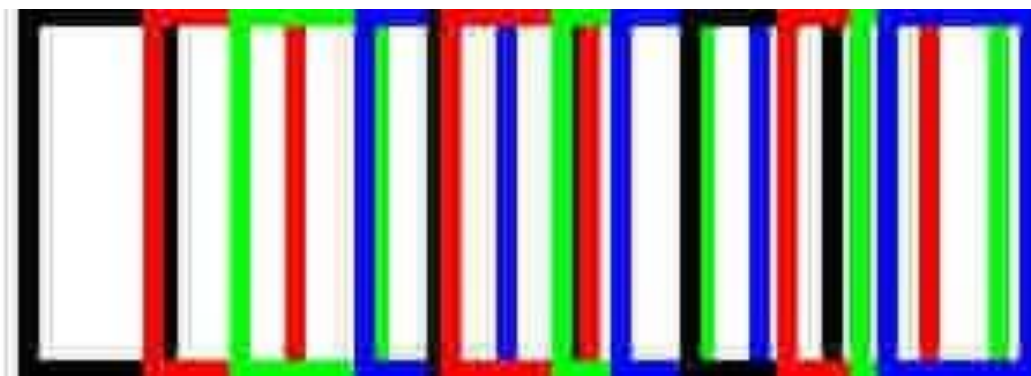


Arlène Stamp, *Sliding Pi*, 1996, mosaïque murale dans le métro de Toronto,.

Arlene Stamp est une artiste canadienne née dans l'Ontario en 1938. Après avoir étudié les mathématiques, elle suit des études d'art en Alberta. Cette double formation a influencé sa pratique artistique, elle aime que son travail soit basé sur des systèmes et un certain ordre, elle utilise des notions mathématiques comme, par exemple la théorie des motifs récurrents, qu'elle applique aux couleurs dans certaines de ses œuvres abstraites.

À partir de pi et de ses décimales, elle a élaboré une œuvre dans l'entrée de la station de métro Downsview de Toronto. A propos de ce travail elle dit : « *J'ai utilisé pi comme source pour une série de nombres imprévisibles parce que le cercle et les murs incurvés étaient une caractéristique de conception de cette station* ».

Il s'agit d'une mosaïque gigantesque faite de rectangles qui se chevauchent. Ce chevauchement n'est pas aléatoire. Chaque rectangle et celui qui le suit se superposent, ne laissant visible qu'une partie de la surface totale : si celle-ci vaut un, alors la partie visible est proportionnelle à la décimale de pi égale à 1.



L'unité de base est un rectangle de 10 unités de large, composé de petites mosaïques carrées. Au lieu de placer ces rectangles côte à côte sur une ligne de base pour créer un motif linéaire régulier, elle fait se chevaucher les rectangles adjacents.

La surface commune entre deux rectangles qui se chevauchent est définie par les décimales de pi. Par exemple, le premier chiffre de pi après la virgule est 1, de sorte que les deux premiers rectangles de gauche (noir et rouge) se chevauchent d'une unité, comme si le second rectangle glissait vers la gauche pour se reposer en partie sur le premier rectangle. Le deuxième chiffre est 4, de sorte que le troisième rectangle (vert) chevauche le précédent de quatre unités.





Arlène Stamp, *Sliding Pi*, 1996, mosaïque murale dans le métro de Toronto.

Elle a utilisé quatre séries de huit couleurs pour réaliser son projet. Les passagers qui parcourent les couloirs du métro voient pour la plupart une œuvre réalisée de manière aléatoire et n'imaginent pas la présence du nombre pi dans cette composition.

d. Gerhard Hotter

Nous avons vu précédemment que Gerhard Hotter a beaucoup travaillé sur les suites de Langford. Mais il s'est également intéressé à la suite des décimales de π , en opposant ces deux suites par le fait que l'une est finie et l'autre infinie. Il dit :

Dans mon travail, le système fermé des séries Langford s'oppose à la suite des chiffres sans fin – donc ouverte - après la virgule de π (pi).

*Ces chiffres π , 3,141..... forment une séquence infinie qui ne se répète pas périodiquement.*⁵⁷

A l'occasion d'une exposition à la galerie Wagner à Paris en 2017, il dit :

*« L'étude de la logique du système des chiffres conduit à des structures visuelles. Le champ est divisé et rythmé. La présence d'un système mathématique permet de décrire exactement cette structure. Il est important pour moi que la structure soit compréhensible – mais je ne demande pas au spectateur de décoder le travail à nouveau. »*⁵⁸

Même si l'objectif premier de Gerhard Hotter n'est pas de représenter, au sens propre, une théorie mathématique, certaines propriétés du nombre pi l'interpellent. Il écrit :

*« Les mathématiciens parlent ici d'un „chiffre normal“. En décomposant ces chiffres en valeurs digitales, c'est-à-dire π égal 3,1415926.... = 01001000100001000001..., une série des chiffres 1 et 0 apparaît qui dans sa suite inclura à un moment toute constellation possible car elle est sans fin et ne se répète pas, de sorte que chaque projection de notre univers transformée en forme digitale est imaginable. »*⁵⁹

⁵⁷ Texte de Gerhard Hotter sur son site :

<http://www.gerhardhotter.de/Daten/F/F%20malerei/F%20PI/F%20PI%20auswahl%20text.htm>

⁵⁸ *Ibid.*

⁵⁹ *Ibid.*

Ce constat mathématique lui a inspiré le titre « *maybe* » de l'une de ses toiles sur le nombre pi. Il fait ainsi allusion à la possibilité que l'écriture du nombre pi en base 2 ($\pi = 01001000100001000001\dots$) permette « peut-être » de retrouver des séquences identiques dans la suite de ces décimales. Lors d'un entretien que j'ai eu avec Gerhard Hotter à l'occasion d'une exposition, il m'a confié que cet aspect mathématique d'un « possible » entrevu par des mathématiciens l'avait inspiré. Néanmoins il choisit de représenter la suite des décimales de pi en utilisant l'écriture en base décimale (π égal 3,1415926....) ce qui lui permet d'avoir recours à dix couleurs différentes et non pas seulement deux.

Avec le titre de cette œuvre Gerhard Hotter rend également hommage à Eugen Gomringer, un poète suisse qui est un des créateurs de la poésie concrète proche du « concrétisme »⁶⁰. Gerhard Hotter y voit une analogie avec la démarche des artistes non figuratifs et tout particulièrement ceux de l'Art Concret. Il dit :

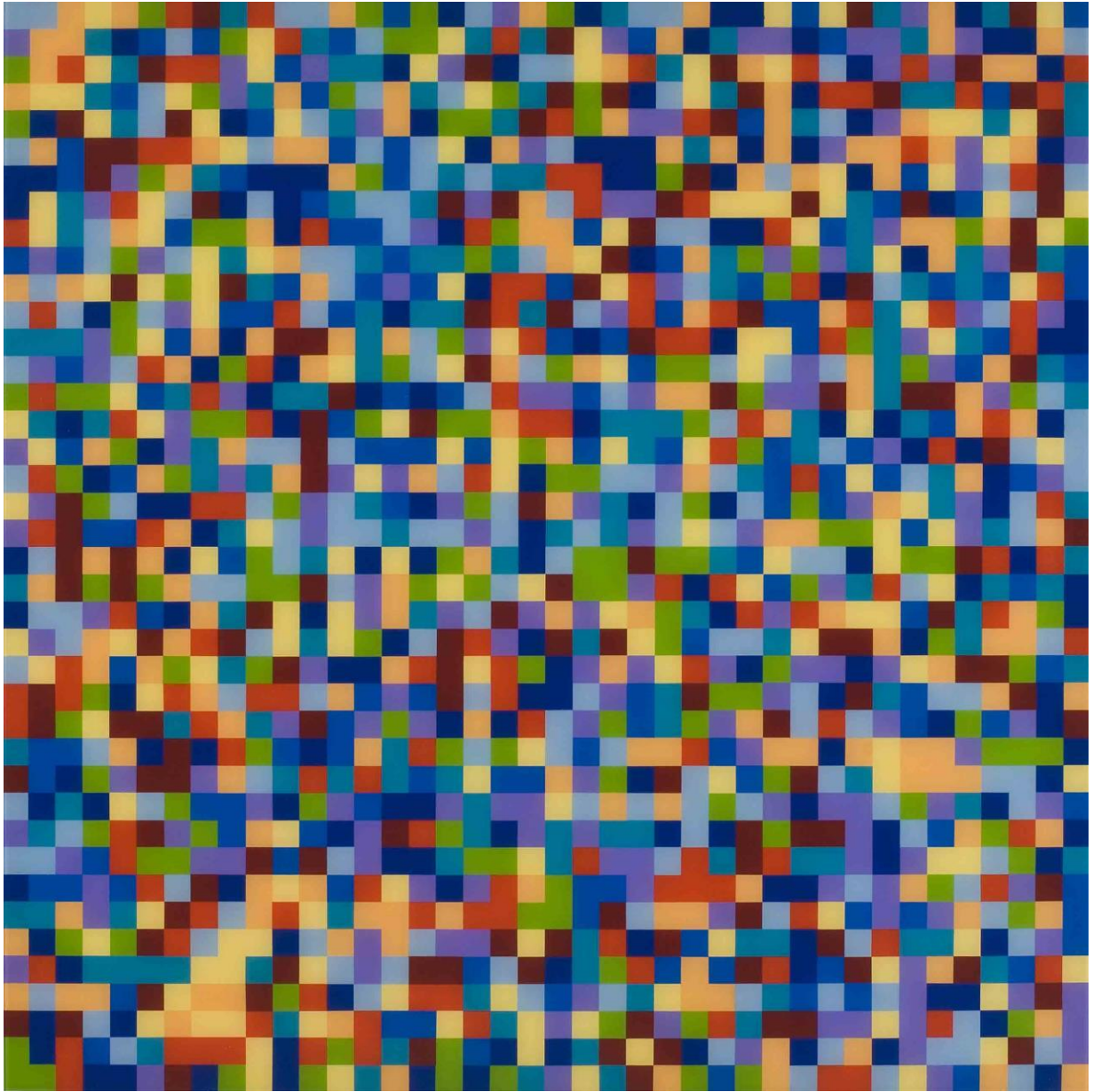
« Un exemple en est une pièce de musique, la représentation d'un paysage, un poème ou bien seulement des fragments... Les sections de chiffres de π après la virgule transformées en couleur sont ainsi des traductions possibles (...maybe...)⁶¹ de photos, de textes etc dans une nouvelle forme, une nouvelle langue visuelle. Il s'agit donc de nouvelles images concrètes nées de la série de chiffres et non pas d'un processus d'abstraction. »⁶²

⁶⁰ En philosophie, doctrine matérialiste du philosophe Tadeuz Kotarbinski (1886-1981).

⁶¹ Titre d'un tableau de Gerhard Hotter de 2009.

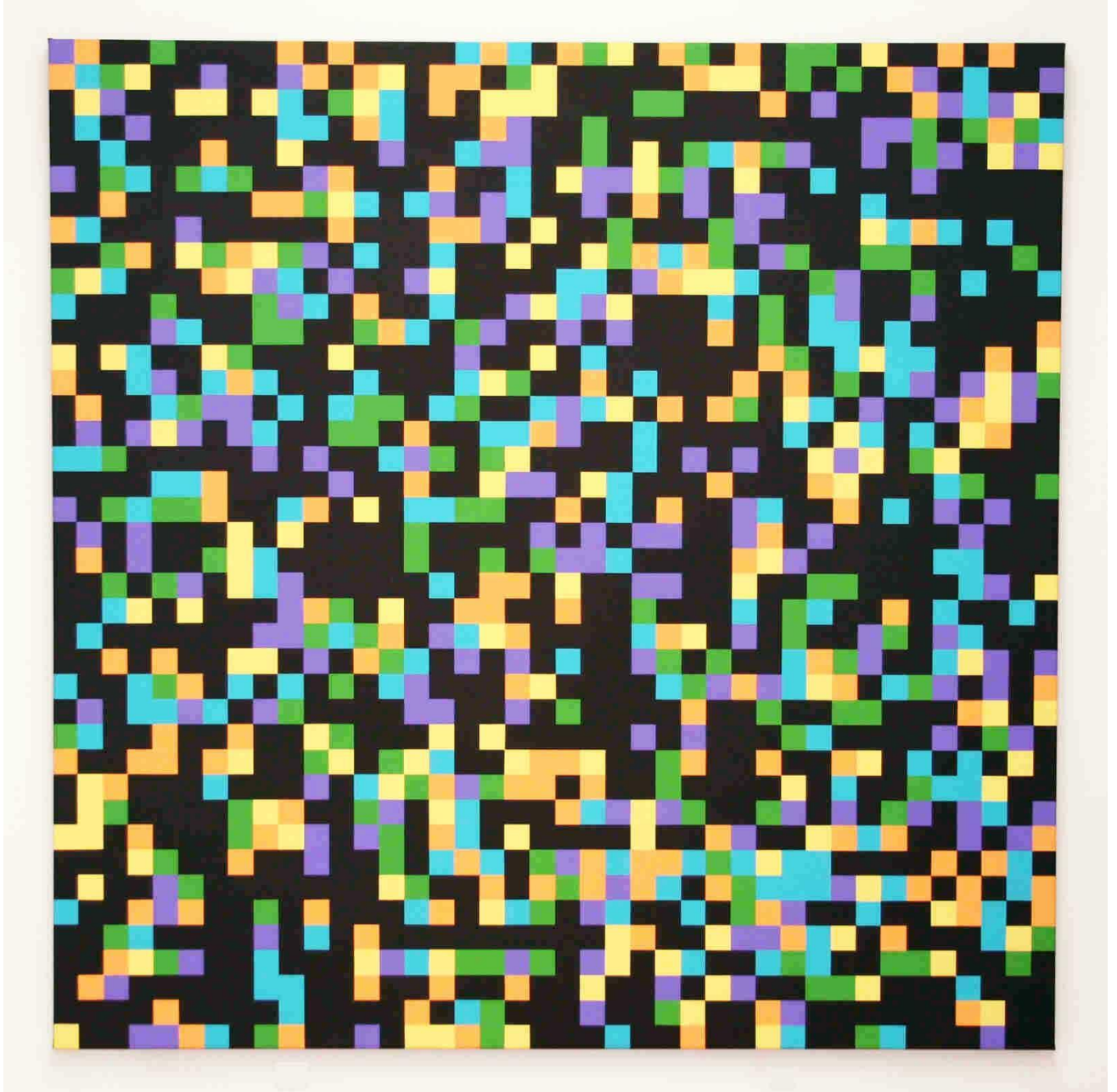
⁶² Texte de Gerhard Hotter sur son site :

<http://www.gerhardhotter.de/Daten/F/F%20malerei/F%20PI/F%20PI%20auswahl%20text.htm>



Gerhard Hotter, *maybe (Gomringers⁶³ Worte) PI*, 2009, acrylique sous verre
d'acrylique sur alu dibond, 80 × 80 cm.

⁶³ Eugen Gomringer (né en 1925), poète suisse, un des créateurs de la poésie concrète.



Gerhard Hotter, *PI-RATEN*, 2009, acrylique sur toile, 160 × 160 × 4 cm.

f. **Michel Tombroff**

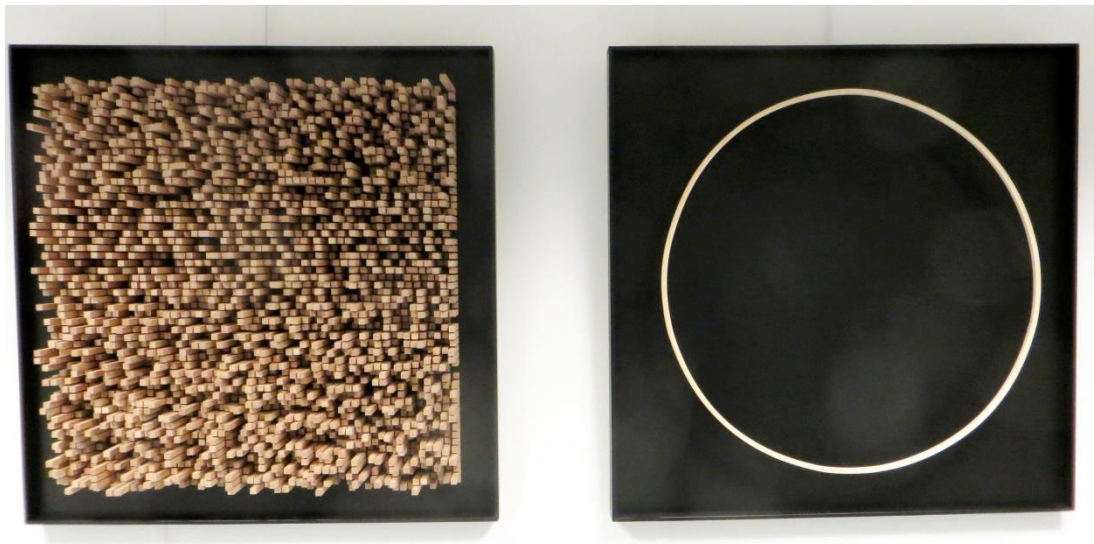
Michel Tombroff est né en 1964 à Bruxelles. Il fait des études d'ingénieur et d'informatique théorique. Il se passionne pour les mathématiques, la logique et la philosophie, ce qui le conduit à avoir une démarche artistique s'inspirant de ces différentes passions.



Michel Tombroff, *Deux*, 2018, réglottes de bois disposées sur un cube, 45 × 45 × 45 cm.

Dans son œuvre intitulée *Deux*, les 3456 premières décimales de la racine cubique de deux (1,259921...) sont représentées par des réglettes disposées sur un cube, soit 576 décimales sur chaque face du cube, le côté de chaque face étant égal à 24 unités. Chaque décimale est représentée par une réglette dont la longueur est égale, en centimètres, à la valeur de la décimale. Les réglettes ont donc des longueurs comprises entre 1 et 9 cm. Elles sont disposées en spirale en commençant au sommet du cube.

Il reprend cette technique des réglettes dans plusieurs œuvres et en particulier pour représenter les décimales de pi.



Michel Tombroff, *pi*, 2018, deux panneaux de bois de 80 × 80 cm, peinture noire acrylique, cercle en balsa, réglettes en bois de hêtre.

Michel Tombroff décrit son œuvre de la façon suivante :

« Les réglettes représentent les premières 3 136 décimales du nombre pi (3,1415...). La hauteur de chaque réglette, en cm, représente la valeur de la décimale correspondante. Le cercle, par contraste, présente pi de façon intuitive, qualitative (pi est le rapport entre la circonférence et le diamètre d'un cercle). La juxtaposition des deux représentations invite le spectateur à penser pi de différentes façons : son irrationalité, son développement décimal

infini et apparemment aléatoire, la contradiction entre la régularité du cercle et la rugosité de la représentation digitale, etc ... »⁶⁴.

Ce travail pourrait s'inscrire dans une démarche conceptuelle et n'est pas sans rappeler l'œuvre de Joseph Kosuth, *One and three chairs*, installation dans laquelle il y a une chaise, une photographie d'une chaise et enfin la définition d'une chaise.



Joseph Kosuth, *One and three chairs*, 1965.

⁶⁴ Cartel de l'œuvre lors de l'exposition Mathématiques et Art à la Mairie du Vème à Paris organisée par l'ESMA en mars 2018.

g. Esther Ferrer

Esther Ferrer est une artiste espagnole surtout connue pour ses performances. En marge de son activité de performeuse elle a une production plastique que l'on pourrait qualifier de minimaliste. Elle a réalisé toute une série de tableaux où elle représente des suites de nombres premiers, cette série s'intitule « Poème des Nombres premiers ». A propos de ce travail elle écrit :

« C'est ainsi que j'ai commencé la série "Le poème des nombres premiers". Au début c'était plutôt décourageant. Des amis mathématiciens me disaient que je n'obtiendrais jamais une structure valable, car les nombres premiers ne sont pas prévisibles. Tout ce qu'on sait, on m'a dit, c'est que sa fréquence décroît à mesure qu'on avance dans la série. En effet, il m'a fallu du temps pour comprendre qu'il valait mieux ne rien prévoir, laisser la structure évoluer en fonction de la dynamique interne de la série. »

Avec cette série Esther Ferrer a une démarche minimaliste, elle ne cherche pas à illustrer une théorie mathématique, elle se sert de cette suite de nombres comme d'un support minimal, lui permettant de naviguer à sa guise au milieu de ces nombres à la progression erratique. Il faut savoir que cette suite mathématique des nombres premiers n'est définie, jusqu'à maintenant, par aucune formule mais que chaque terme vérifie la propriété suivante : chaque nombre premier admet exactement deux diviseurs, 1 et lui-même. La recherche de nouveaux nombres premiers occupe une partie de la communauté mathématique, le dernier record étant le nombre $2^{82\,589\,933} - 1$ qui comporte environ 25 millions de chiffres. Esther Ferrer explore des constructions différentes afin d'obtenir des résultats plastiques intéressants. Elle dit que son travail est d'« un minimalisme très particulier basé sur la rigueur de l'absurde ». Elle décrit son travail de la manière suivante :

« Parfois je commence à les écrire en haut à gauche et je continue comme dans une écriture normale. D'autres fois je commence au centre et je fais une spirale jusqu'au bord. Parfois je commence au début avec, 1, 2, 3, 5, 7 etc. parfois je

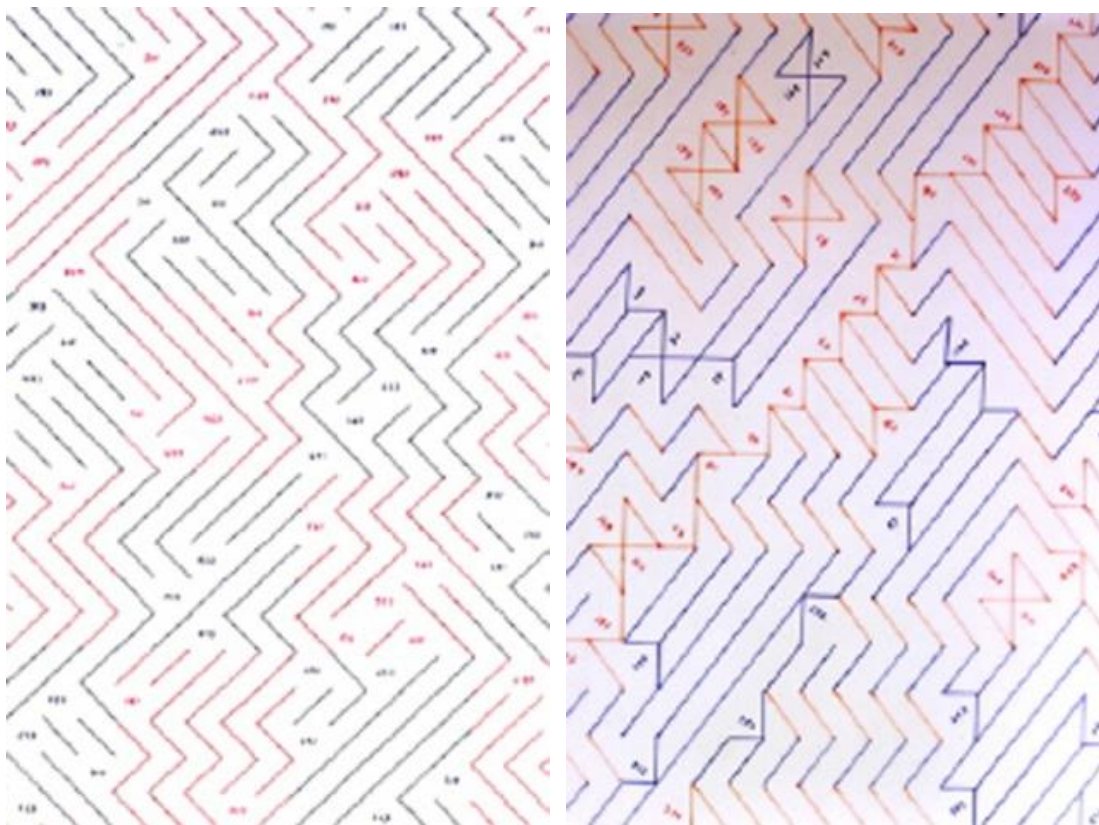
saute des nombres et je commence à partir de 2.000 ou 4.000 et même 15.000.000 ou plus. Il m'arrive aussi de commencer à partir de 41, ce qui donne une ligne de nombres premiers très curieuse, selon une observation de Stanislav Ulam⁶⁵. La première chose qui m'a surprise en travaillant avec la série des nombres premiers c'était quel que soit le système que j'utilise, le résultat est toujours beau, de plus en plus beau au fur et à mesure qu'on progresse dans la série. En fait, plus le tableau est grand, plus le résultat est beau. C'est la raison pour laquelle j'aimerais faire des œuvres monumentales avec cette série, par exemple des sols, ou des murs etc. ».

Elle réalise en 1997 une installation au sol de la galerie Trayecto à Vitoria en Espagne.

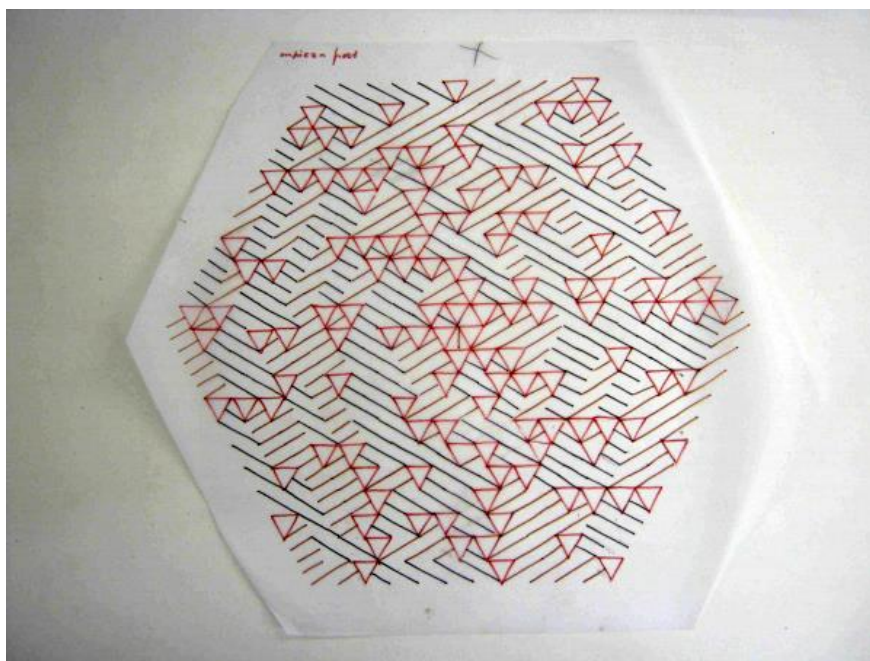


Esther Ferrer, *Poema de los números primos III*, 1997 Galería TRAYECTO, Vitoria (Espagne).

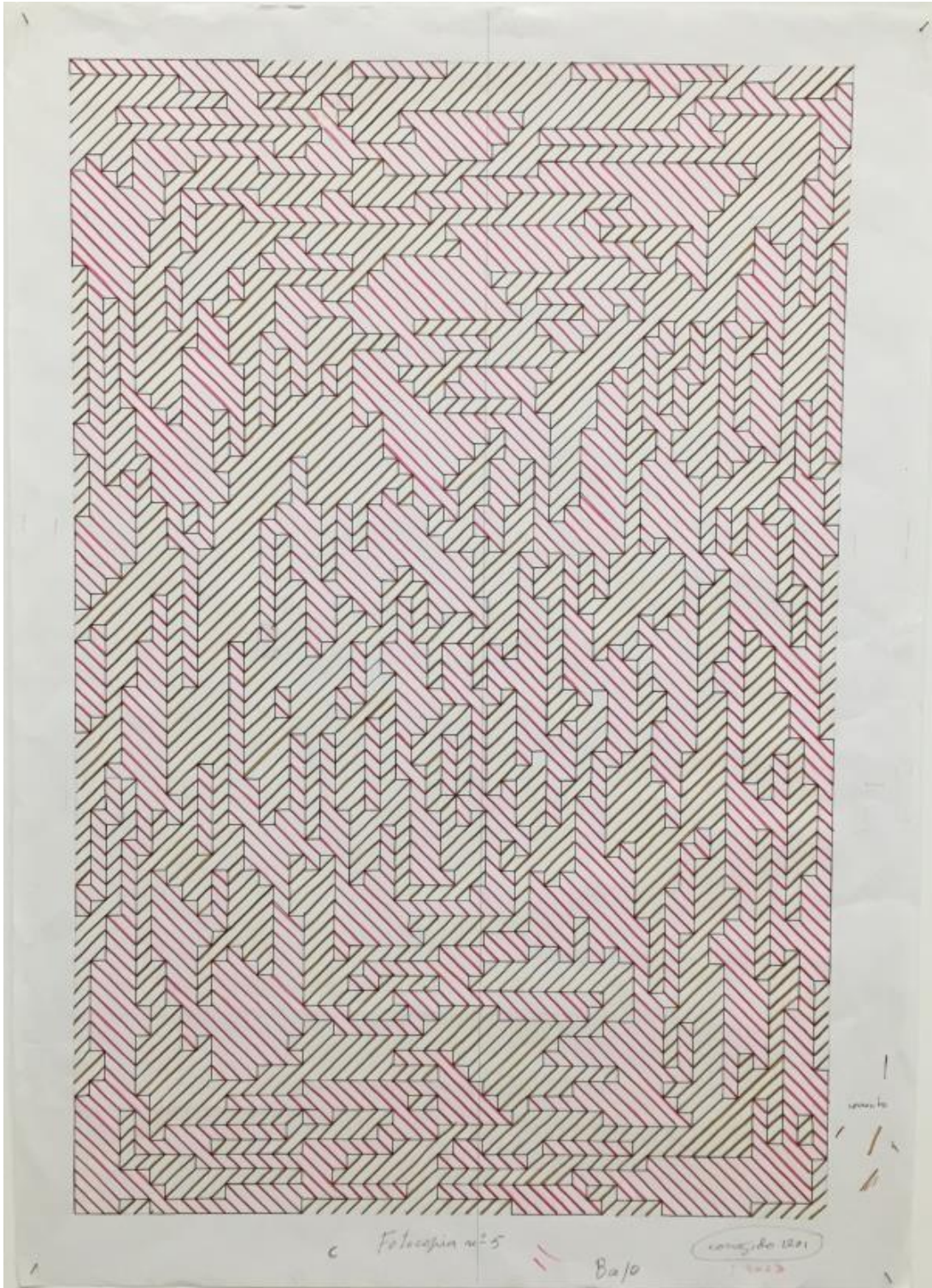
⁶⁵ Stanislaw Ulam, (1909-1984) est un mathématicien polono-américain.



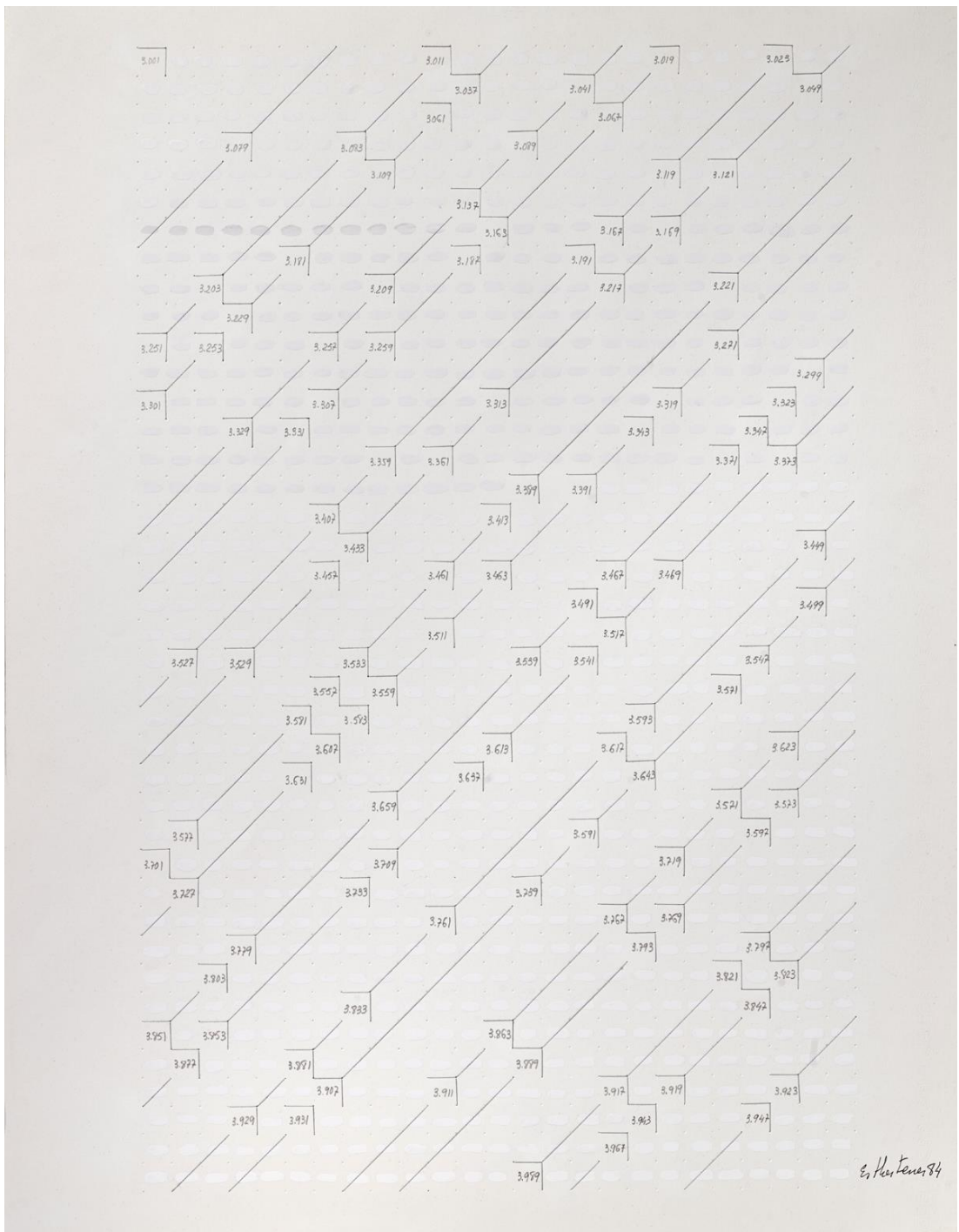
Esther Ferrer, *Le poème des Nombres premiers*.



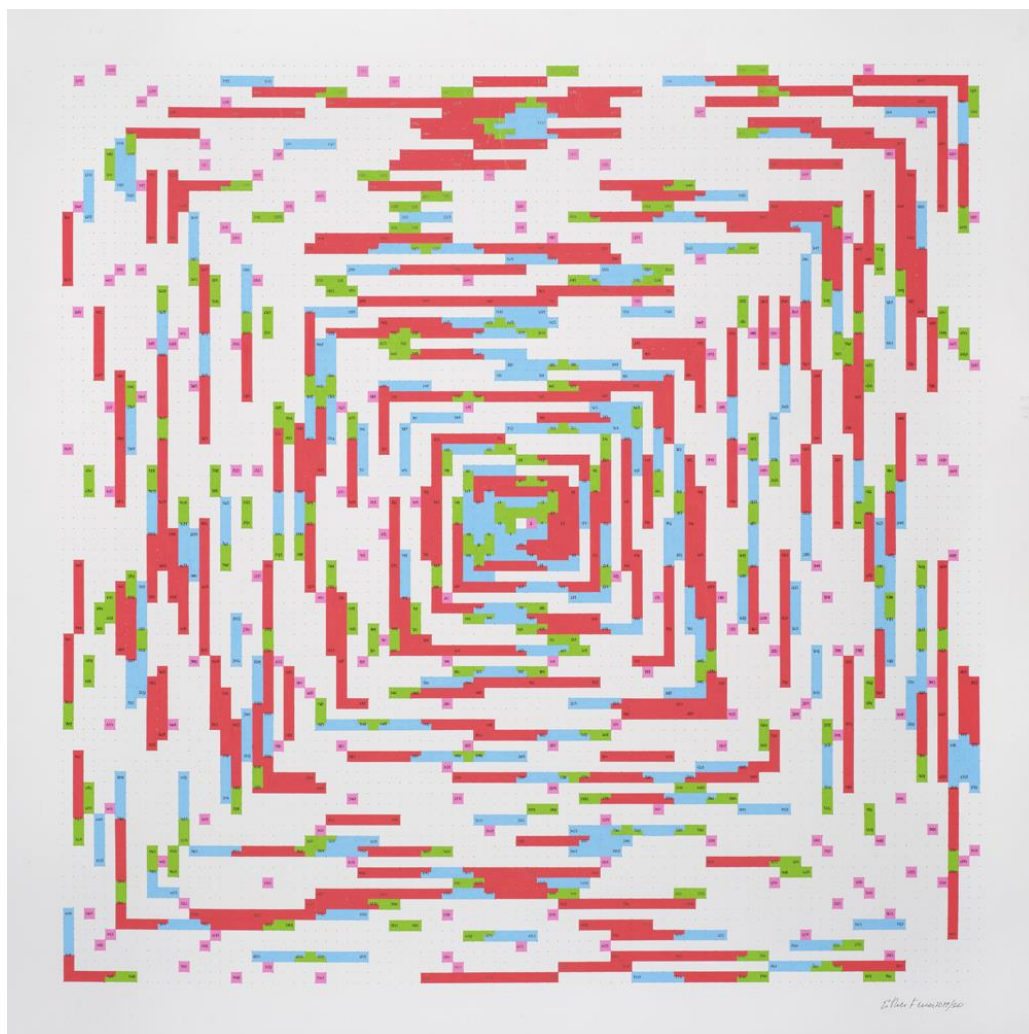
Esther Ferrer, *Nombres premiers hexagonaux*, 1986-88, feutre sur papier calque, hexagone 23,5 cm, côté à côté, 27 cm.



Esther Ferrer, *Nombres premiers*, 1980, papier, crayon, feutre, 100 × 70 cm.

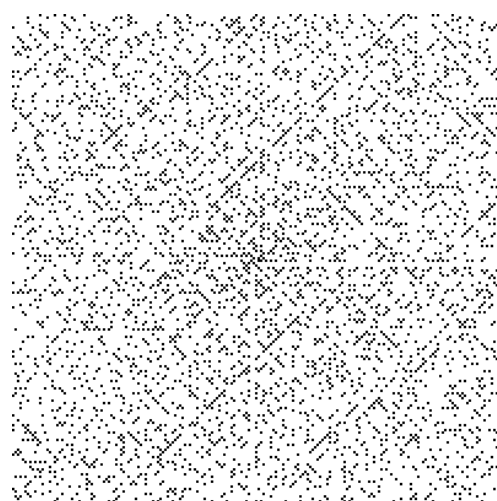


Esther Ferrer, *Nombres premiers*, 1984.



Esther Ferrer, *Nombres premiers*.

Lorsque Esther Ferrer écrit les nombres premiers en les enroulant sur une spirale partant du centre de son tableau elle dit avoir été inspirée par le mathématicien Stanislaw Ulam⁶⁶ qui a représenté la suite des nombres premiers de cette façon. En fait, il assistait à une conférence où il s'ennuyait et a griffonné cette suite sur une feuille, en disposant les nombres en spirale, il a constaté que ces nombres semblaient s'aligner en suivant des diagonales, surtout si l'on commence à partir du nombre 41.



Spirale d'Ulam

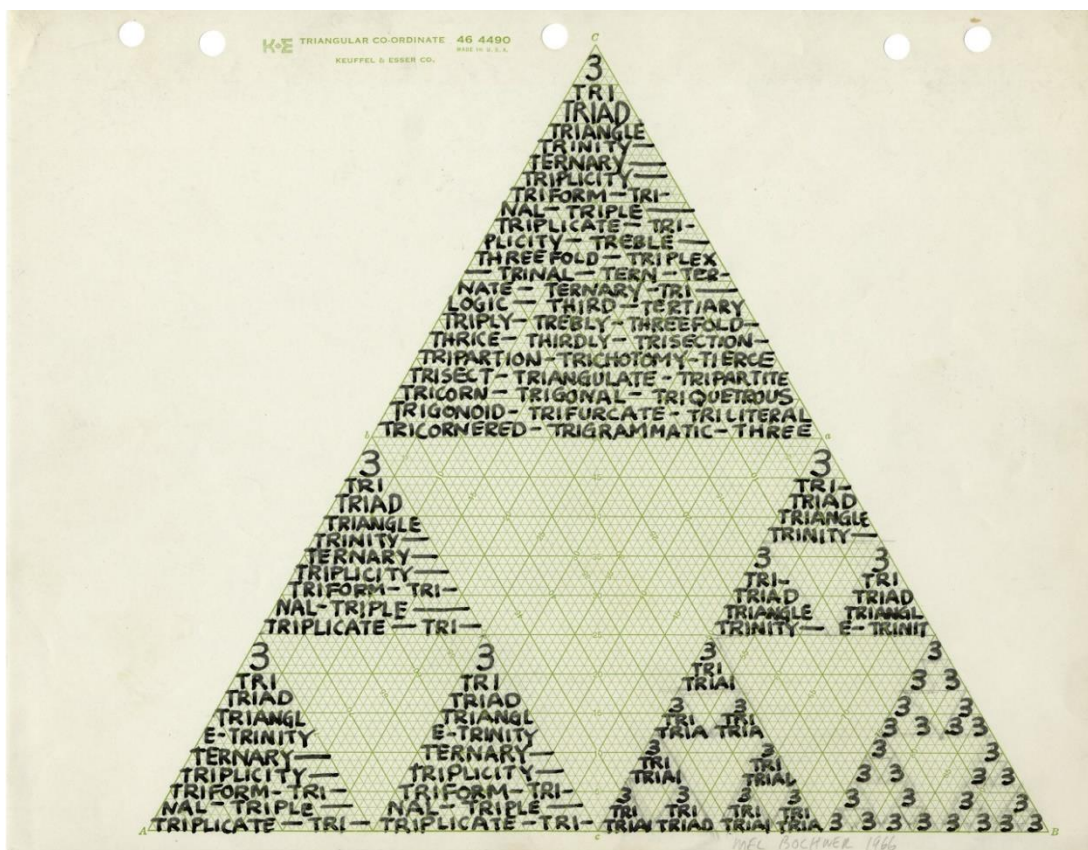
⁶⁶ Stanislaw Ulam, (1909-1984) est un mathématicien polono-américain.

h. Mel Bochner

Nous avons vu que Mel Bochner s'intéresse à l'introduction d'une forme de sérialité dans une œuvre d'art. Nous allons voir un aspect de cette sérialité qui consiste à avoir recours aux suites mathématiques.

En parlant de son travail en 1966, il dit :

« L'idée était de partir d'un ensemble simple de principes (comme la symétrie) et de règles (les nombres (1-4) dans un ordre toujours descendant ou ascendant) » pour « éliminer la nécessité d'un choix personnel.



Mel Bochner, 3, 1966, encre sur papier millimétré, 8,5 × 11 pouces.

Dans son œuvre intitulée 3, Mel Bochner utilise le triangle de Sierpinski⁶⁷ qui est une construction fractale. Cette œuvre a une composante sérielle, dans la mesure où Mel Bochner répète les mêmes mots, on a l'impression d'être en face d'une

⁶⁷ Waclaw Franciszek Sierpiński, (1882-1969), mathématicien polonais.

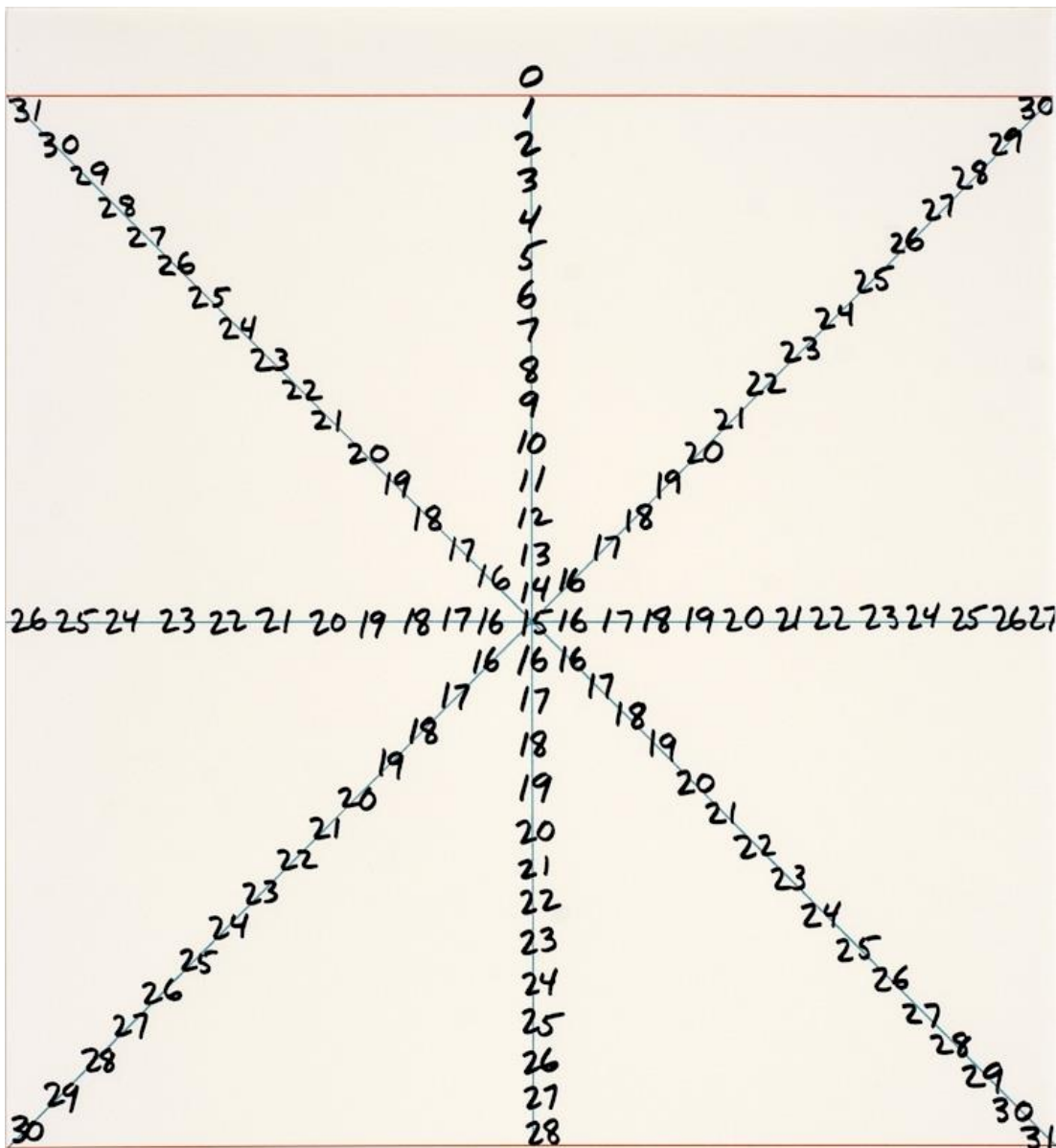
sorte de litanie. Ainsi, il combine la sérialité à l'intérieur d'une même œuvre et le minimalisme par l'utilisation d'un protocole mathématique qui implique un minimum de décisions.

La construction d'un triangle de Sierpinski fait appel à un protocole mathématique rigoureux.



Construction du triangle de Sierpinski

On part d'un triangle équilatéral, on divise par 2 chaque côté, on obtient alors quatre nouveaux triangles puis on itère le procédé. On obtient ainsi une fractale déterministe car son mode de construction définit un objet unique, contrairement aux fractales stochastiques pour lesquelles le hasard intervient dans leur construction. Dans ce triangle de Sierpinski, on peut donc noter la présence d'une suite géométrique de raison $\frac{1}{2}$ puisqu'il faut multiplier la longueur du côté d'un triangle par $\frac{1}{2}$ pour obtenir celle du côté des triangles de la série suivante. Mel Bochner se sert de cette structure fractale en écrivant dans le premier triangle plusieurs mots liés au nombre 3, puis il supprime petit à petit la moitié des lignes pour aboutir à des petits triangles où ne reste que le nombre 3. Dans ce travail Mel Bochner a transformé un objet mathématique en objet plastique.



COUNTING ALTERNATIVES: ASTERISK BRANCH
 THE WITTGENSTEIN ILLUSTRATIONS (1971)

"349. IS IT THAT RULE AND EMPIRICAL PROPOSITION
 MERGE INTO ONE ANOTHER?"
 LUDWIG WITTGENSTEIN ON CERTAINTY

Mel Bochner, *Counting Alternatives, Asterisk Branch*, 1971, photogravure, 20 × 15 pouces.

Dans *Counting Alternatives*, nous pouvons voir une suite arithmétique de premier terme 1 et de raison 1 puisque Mel Bochner écrit la suite des nombres entiers naturels. Il a dessiné une sorte d'astérisque, et ensuite il a commencé à écrire les nombres entiers sur la branche du haut, le nombre 15 se trouve au centre du dessin. Il poursuit l'écriture de la suite des nombres entiers sur chacune des sept autres branches. En fait il obtient ainsi sept suites arithmétiques de raison 1 et toutes de premiers termes 1. Ce sont des suites finies puisque le nombre de termes est fini. En mathématiques on dit que ce sont des suites extraites de la suite des nombres entiers naturels. L'écriture irrégulière de Mel Bochner ne lui a pas permis d'obtenir le même nombre de termes sur chaque branche, le dernier terme est égal à 26, 27, 28, 30 ou 31.

i. Hanne Darboven

Hanne Darboven (1941 – 2009) est une artiste conceptuelle allemande, la grille est l'élément structurant de son œuvre, ainsi que la répétition de combinaisons d'éléments mathématiques. On peut dire qu'elle allie ce principe de sérialité décrit par Mel Bochner et le recours aux suites mathématiques dans la mesure où très souvent ce sont des listes de nombres ou des éléments géométriques élémentaires comme des segments qu'elle répète inlassablement. Elle dit :

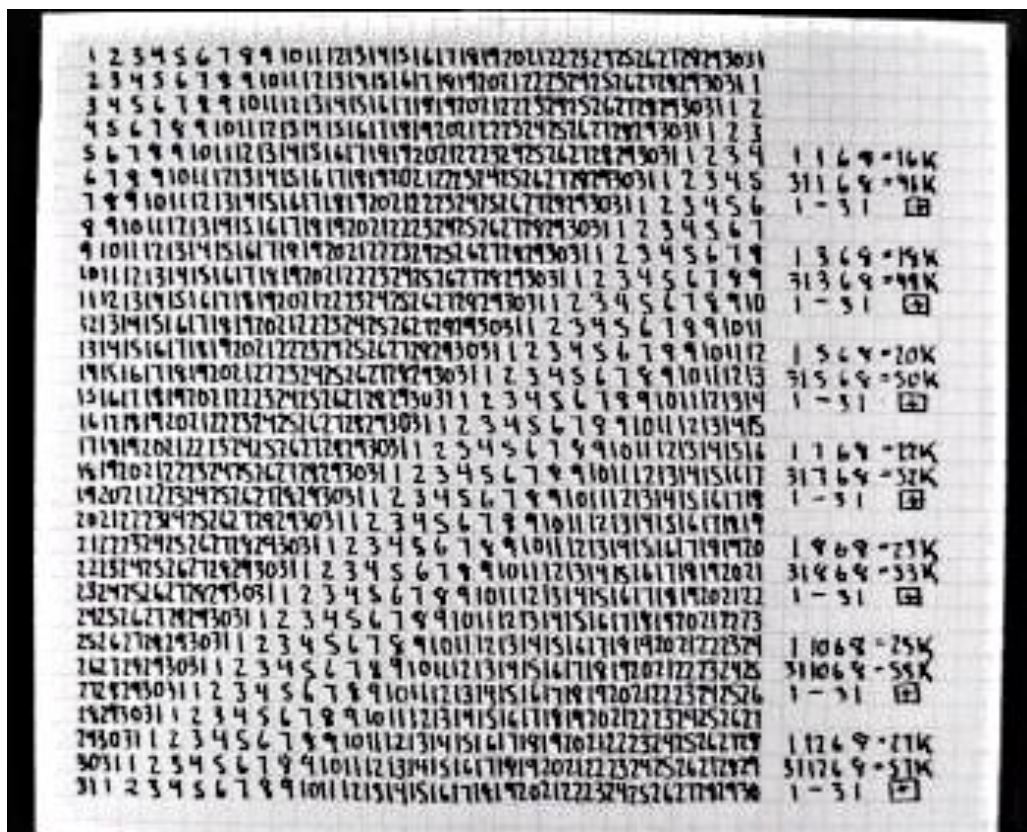
« Mes systèmes sont des concepts numériques dont le principe de progression et / ou la réduction sont liés à des thèmes musicaux et comment ils fonctionnent avec des variations. [...] Les moyens simples pour exprimer mes idées et concepts, des chiffres et des mots, sont le papier et un crayon. »

Elle ajoute :

« Je n'utilise que des chiffres », car c'est une manière d'écrire sans décrire (Schreiben, nicht beschreiben). Cela n'a rien à voir avec les mathématiques. Rien ! Je choisis les nombres parce qu'ils sont si stables, limités, artificiels. La seule chose qui n'ait jamais été créée est le nombre. Un certain nombre de quelque chose (deux chaises, ou autre) est autre chose. Ce n'est pas un nombre pur et a d'autres significations. Si je l'inventais, je ne pourrais probablement pas écrire tout cela. Cela doit être totalement simple pour être une véritable écriture.⁶⁸

Elle écrit des nombres ou des dates sur des papiers quadrillés, comme si elle remplissait des tableaux avec méthode et s'appuie souvent sur le concept de suite mathématique. Son travail est sous-tendu par un protocole précis et n'a pas recours au hasard.

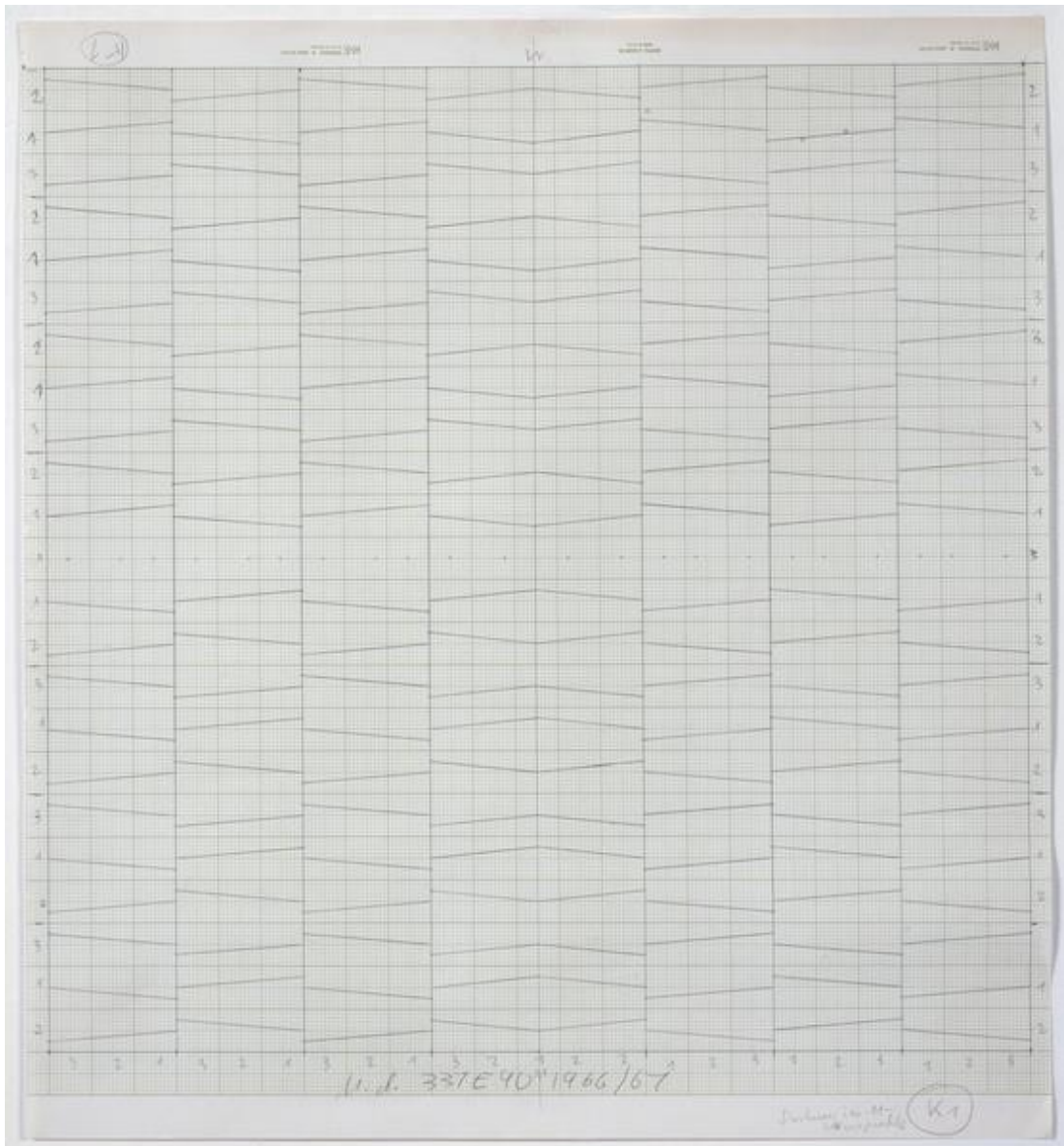
⁶⁸ Lucy R. Lippard, *Hanne Darboven : deep in numbers*, Artforum octobre 1973.



Hanne Darboven, *Sehs Filme nach sehs Büchern*, 1968

Dans ce tableau Hanne Darboven écrit la suite des 31 premiers nombres entiers. Elle les écrit sur un papier quadrillé et, d'une ligne à l'autre elle réécrit la même suite de nombres mais en les décalant de une unité vers la gauche. Elle réitère le procédé sur 31 lignes, ce qui donne un aspect visuel très graphique à ce tableau de nombres. Cette suite des 31 premiers entiers est une suite arithmétique de premier terme 1, de raison 1 et de dernier terme 31. On dit, en mathématiques, que c'est une suite finie extraite de la suite des entiers naturels qui est une suite infinie.

Elle utilise le concept de suite numérique pour créer une sorte de dessin, elle parle de « prose mathématique ».



Hanne Darboven, *KI-Zeichnung*, mine graphite sur papier, 1966-1967, 66 × 60 cm.,.

Dans cette œuvre la régularité des traits, et leurs espacements réguliers montrent que l'on a affaire à des suites arithmétiques.

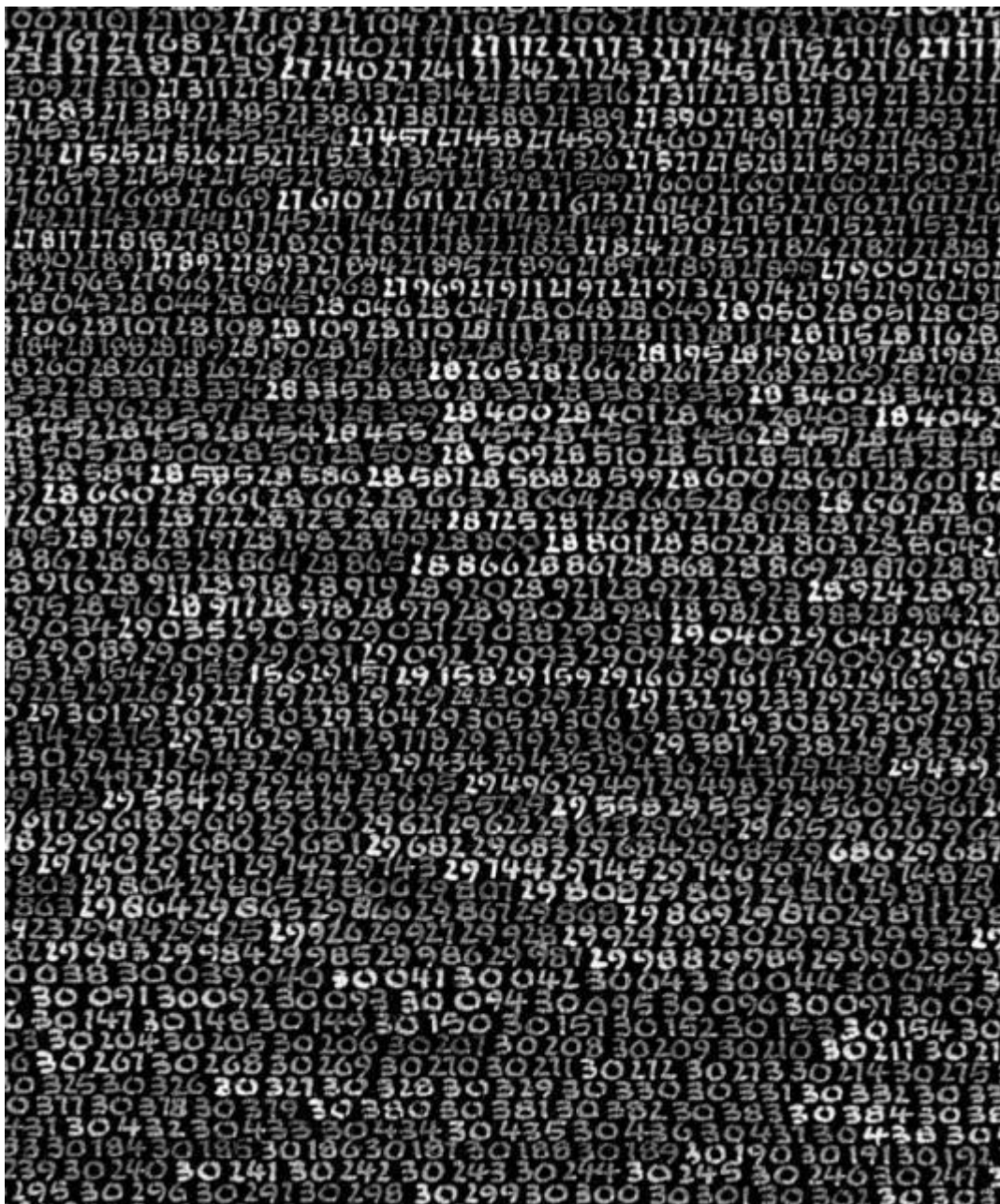
j. **Roman Opalka**

Roman Opalka a passé plusieurs années de sa vie à réaliser des toiles qu'il baptise *Détails* et sur lesquels il peint inlassablement la suite des nombres entiers. Ces toiles symbolisent l'écoulement du temps, il a commencé avec le nombre 1, il a réalisé 233 *Détails* et est arrivé au nombre 5 607 249. Il a ainsi reproduit la suite mathématique la plus emblématique puisqu'il s'agit de la suite des nombres entiers naturels. Il décrit son travail de cette façon :

Ma proposition fondamentale, programme de toute ma vie, se traduit dans un processus de travail enregistrant une progression qui est à la fois un document sur le temps et sa définition. Une seule date, 1965, celle à laquelle j'ai entrepris mon premier Détail. Chaque Détail appartient à une totalité désignée par cette date, qui ouvre le signe de l'infini, et par le premier et le dernier nombre portés sur la toile. J'inscris la progression numérique élémentaire de 1 à l'infini sur des toiles de mêmes dimensions, 196 sur 135 centimètres, à la main, au pinceau, en blanc, sur un fond recevant depuis 1972 chaque fois environ 1 % de blanc supplémentaire. Arrivera donc le moment où je peindrai en blanc sur blanc.

Depuis 2008, je peins en blanc sur fond blanc, c'est ce que j'appelle le "blanc mérité". Après chaque séance de travail dans mon atelier, je prends la photographie de mon visage devant le Détail en cours. Chaque Détail s'accompagne d'un enregistrement sur bande magnétique de ma voix prononçant les nombres pendant que je les inscris.»

A cette série dont le sujet est la suite des nombres entiers il a associé la série de ses autoportraits qui sont des photographies de lui-même après la fin de chaque toile *Détail*.



Roman Opalka, *Détail, /I- ∞*, 1965-2011.



k. Bernar Venet

Bernar Venet est un artiste qui s'est servi des mathématiques tout au long de son œuvre. Il trouve dans les mathématiques un foisonnement de sujets, un peu comme un artiste qui peindrait des visages durant toute sa vie. Dans un entretien avec Philippe FIGUET⁶⁹ en 2012 qui lui demandait « Que répondez-vous à ceux qui vous rétorquent "Ce n'est pas de l'art, ce sont des mathématiques" », il dit :

« La réponse est très simple et évidente pour qui veut bien ouvrir les yeux. Disait-on au Greco qui peignait des scènes religieuses : ça n'est pas de l'art, c'est de la théologie ? Disait-on aux frères Le Nain qui peignaient des scènes de paysans : ça n'est pas de l'art, c'est de la sociologie ? Disait-on à Michel-Ange qui peignait des nus sur les plafonds de la Sixtine : ça n'est pas de l'art, c'est de l'anatomie ? Disait-on à Courbet qui peignait des paysages composés d'arbres et de rochers : ça n'est pas de l'art mais des sciences naturelles, de la botanique ou de la minéralogie ? Et disait-on à Malevitch qui peignait des carrés et des triangles, à Rodchenko qui traçait des cercles et des lignes droites : ça n'est pas de l'art mais de la géométrie ? La théologie, la sociologie, l'anatomie, la botanique, la minéralogie, la géométrie - et tant d'autres sciences susceptibles d'enrichir ma liste- seraient-elles les seules à pouvoir être utilisées par les artistes ? »⁷⁰

Après avoir pendant de nombreuses années, réalisé des sculptures monumentales qui avaient pour base les mathématiques, Bernar Venet fait évoluer son travail vers des peintures murales ainsi que des œuvres sur toile. Il passe donc de créations en trois dimensions à des supports plans tout en gardant comme objectif de « représenter » les mathématiques. Il n'illustre pas des théories mathématiques mais il représente des objets mathématiques considérant ces objets comme des sujets plastiques. A propos de ses « peintures mathématiques » il dit :

⁶⁹ Aurélien Alvarez, (né en 1980) mathématicien français, professeur à l'École normale supérieure de Lyon.

⁷⁰ FIGUET Philippe, « Bernar Venet, de l'art et des mathématiques » — *Images des Mathématiques*, CNRS, 2012, entretien avec Bernar Venet, écrit par Aurélien ALVAREZ.

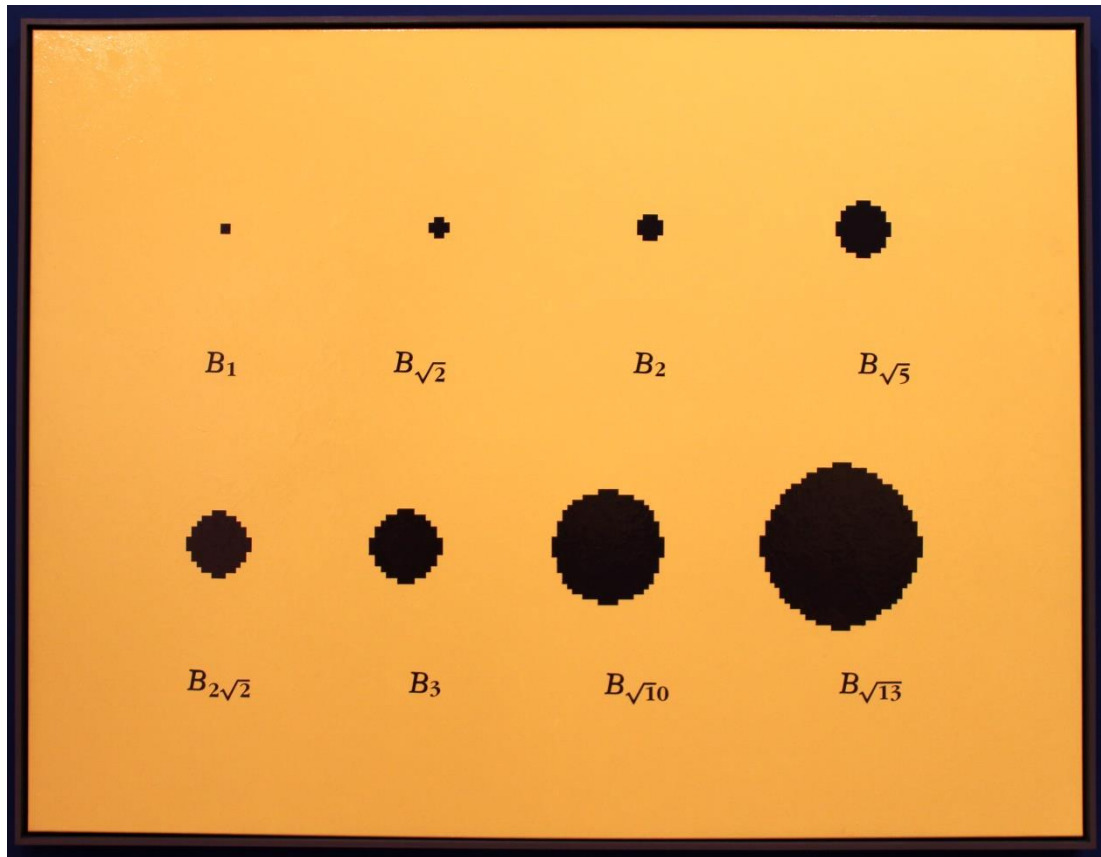
« En découvrant mes œuvres, le public a tendance à penser que je suis mathématicien et que je maîtrise totalement le contenu de mes tableaux. Il n'en est rien et je ne m'en cache pas. C'est pour des raisons exclusivement spécifiques à l'art que j'utilise ces signes et ces figures mathématiques. [...] Alors que l'art abstrait caractérise ce qui est « non figuratif », ces nouveaux travaux fonctionnent dans une autre catégorie. En présentant ce que l'on définit habituellement comme "objets mathématiques" : nombres, figures, espaces, fonctions, relations, structures, etc... l'œuvre d'art peut alors s'élever à un niveau d'abstraction maximal qui lui était étranger. Le "non-référentiel" est poussé dans ses extrêmes limites. Nous n'avons plus, comme dans l'art abstrait, de symbolique non plus, celle de la forme ou de la couleur par exemple... Je propose un système auto-référentiel maximal, celui que seule une équation mathématique peut contenir.»⁷¹

Il ajoute :

« Certains croient qu'il est nécessaire de déchiffrer ces équations afin de les apprécier. Une question qui me semble intéressante est posée concernant ce que l'on entend par « compréhension » des œuvres d'art. »

Parmi tous les objets mathématiques qu'il a représentés il s'est peu intéressé aux suites mathématiques. Un tableau a néanmoins retenu notre attention, celui où Bernar Venet représente des opérateurs morphologiques. En regardant ce tableau nous avons immédiatement la sensation d'être en présence d'une suite logique mathématique. C'est le titre « *Related to : Morphological Operators* » qui nous oriente vers la théorie des opérateurs morphologiques.

⁷¹ Ibid

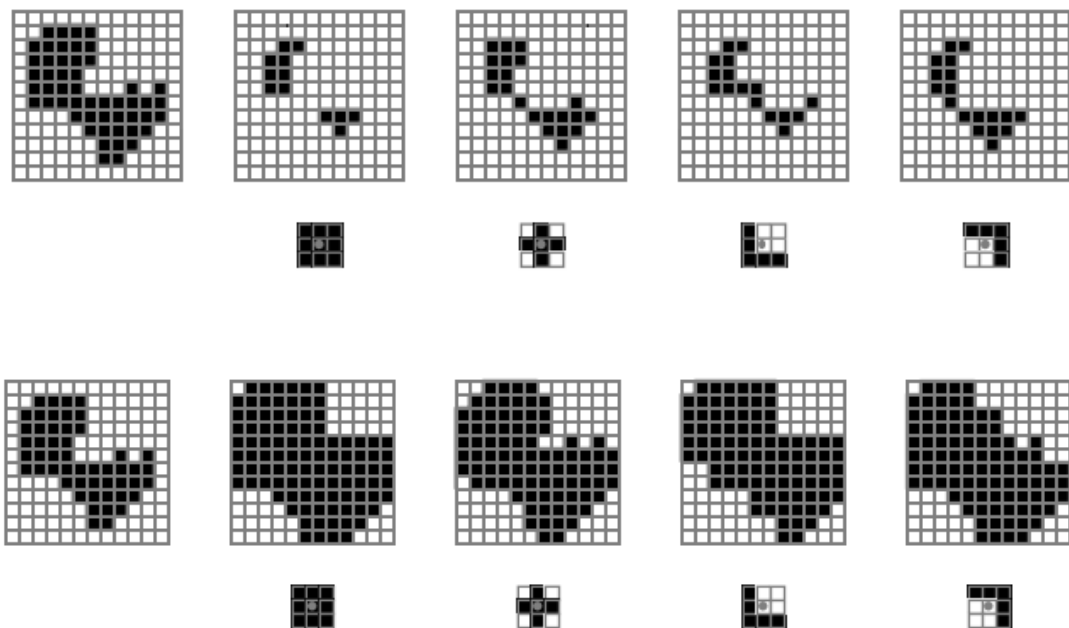


Bernar Venet, *Related to : Morphological Operators with Discrete line Segments*, 2001, Acrylique sur toile, 183 × 243 cm.

La morphologie mathématique a pour but de modifier une image par deux types d'opération, la dilatation ou l'érosion à l'aide d'un élément dit « structurant » qui permet d'agrandir ou de rogner l'image de départ. La morphologie mathématique a des applications dans l'imagerie numérique. A partir d'une image X et de ce que l'on appelle un élément structurant M , le principe est le suivant :

lorsqu'il y a érosion on a : $Ero_M(X) = \{(x,y) / M_{(x,y)} \subset X\}$ et lorsqu'il y a dilatation on a : $Dil_M = \{(x,y) / M_{(x,y)} \cap X \neq \emptyset\}$.

Dans les images ci-dessous, nous voyons l'illustration de l'érosion puis de la dilatation d'une image binaire X (à gauche de chaque série) selon quatre éléments structurants différents M , chaque élément structurant ayant un point d'ancrage marqué ici par un point jaune.



Rolf Ingold⁷², *Illustration de l'érosion et de la dilatation dans la morphologie mathématique*, Université de Fribourg, 2004

Dans le tableau de Bernar Venet on reconnaît le principe des opérateurs morphologiques mais il est difficile de retrouver l'élément structurant. De même les indices, comme $\sqrt{2}$ ou $\sqrt{10}$, pour les ensembles B semblent avoir été choisis au hasard. Il est clair que Bernar Venet a voulu se servir des opérateurs morphologiques comme des objets mathématiques pouvant être représentés plastiquement et que ce que nous voyons correspond à une suite logique.

⁷² Rolf Ingold, Université de Fribourg, 2004.

I. André Cadere

André Cadere est un artiste qui s'inscrit dans la mouvance minimaliste et conceptuelle. Pour réaliser ses célèbres bâtons colorés il a recours aux mathématiques et plus particulièrement aux permutations. Tous ses bâtons sont constitués d'anneaux colorés qui sont agencés selon des permutations mathématiques mais André Cadere introduit systématiquement une erreur dans l'ordre logique de la succession des couleurs.

La répartition des couleurs sur chaque bâton fonctionne comme une suite logique. Dans la série de six bâtons ci-dessous, il choisit trois couleurs par bâton, par exemple noir, rouge, blanc. Il applique une succession de permutations circulaires⁷³ à ce triplet de couleurs et il représente une suite construite à partir de ces permutations.



André Cadere, Six barres de bois rond, 1975, bois peint, 120 cm, Paris, Centre Pompidou.

⁷³ Une permutation circulaire transforme le n-uplet (a_1, a_2, \dots, a_n) en le n-uplet $(a_2, a_3, \dots, a_n, a_1)$.

Si l'on attribue les nombres 1, 2, 3 respectivement aux couleurs noir, rouge et blanc on peut étudier les permutations que André Cadere a appliqué au triplet (1, 2, 3). Etudions ces permutations à l'aide du tableau suivant. Les permutations circulaires du triplet (1, 2, 3) sont (2, 3, 1) et (3, 1, 2). Dans le bâton de Cadere on retrouve la première permutation, mais pas la seconde. En effet le triplet (2, 1, 3) est une permutation de (1, 2, 3) mais pas une permutation circulaire. Il aurait dû utiliser la permutation (3, 1, 2). Cette « erreur », dont on peut dire qu'elle est volontaire puisqu'on la retrouve sur les cinq autres bâtons de cette série, représente une partie du geste artistique d'André Cadere. On peut également remarquer qu'il représente quatre triplets ce qui lui permet de revenir au triplet de départ, on retrouve cette configuration sur d'autres bâtons qui comportent plus de couleurs.



Structure du bâton avec erreur			Structure sans erreur		
Black	N	1	1	Black	
Red	R	2	2	Red	
White	B	3	3	White	
Red	R	2	2	Red	
White	B	3	3	White	
Black	N	1	1	Black	
Red	R	2	3	White	
Black	N	1	1	Black	
White	B	3	2	Red	
Black	N	1	1	Black	
Red	R	2	2	Red	
White	B	3	3	White	

Il est intéressant de noter que toute cette période du travail d'André Cadere autour de ses bâtons, s'est appuyée sur les mathématiques et tout particulièrement sur les suites logiques. Pour le spectateur qui voyait ces barres, la régularité du processus n'apparaît pas au premier regard et encore moins cette « erreur » systématique. Lorsqu'on étudie d'autres barres d'André Cadere on peut trouver d'autres types d'« erreurs ». Il n'a d'ailleurs pas toujours utilisé des permutations circulaires mais ses répartitions de couleur répondent toujours à une logique rigoureuse.

Dans la barre ci-contre il utilise 4 couleurs mais, cette fois ce ne sont pas des permutations circulaires. Dans son groupe de quatre couleurs il permute d'abord les deux premières couleurs, puis dans le groupe suivant il permute les deux couleurs du milieu et ensuite il permute les deux dernières couleurs et ainsi de suite. Il lui faut treize groupes pour revenir à la configuration de départ. Il glisse son « erreur » dans le dixième groupe en partant du haut, en effet ce groupe est identique au précédent et n'a donc pas subi une permutation comme les autres.

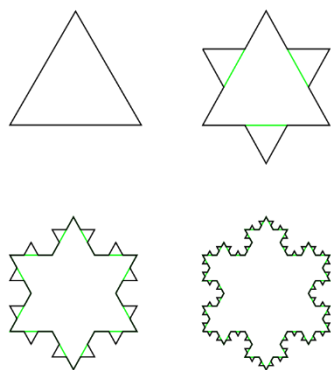
André Cadere, barre ronde en bois, vert, jaune, orange, rouge.



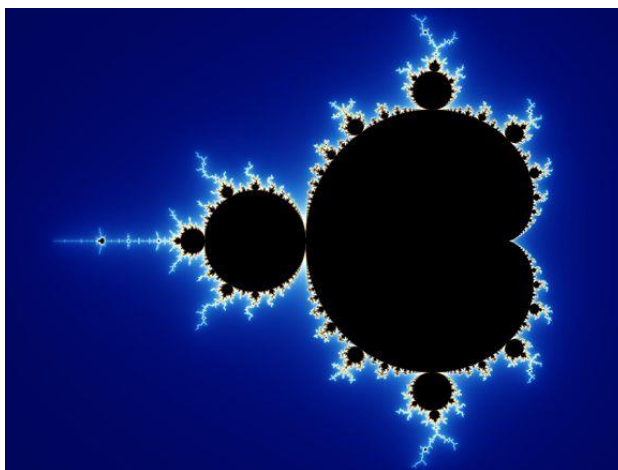
4) Suites et art fractal

Nous évoquerons très rapidement l'art fractal car ce travail a déjà été fait dans mon mémoire de Master 2, *Chaos et fractalité*, dont un extrait figure en Annexe D page 281.

Une fractale est un objet mathématique dont la représentation graphique fait apparaître une structure similaire à différentes échelles. Il existe deux types de fractales, les fractales stochastiques ou aléatoires et les fractales déterministes. Ces dernières sont construites à partir de suites mathématiques. Par exemple le flocon de Von Koch est construit à partir d'un triangle équilatéral, chacun de ses côtés est divisé en trois afin de construire un nouveau triangle équilatéral, et ainsi de suite, après plusieurs itérations on obtient une figure qui ressemble à un flocon. Les longueurs des côtés de ces triangles équilatéraux forment une suite géométrique de raison $1/3$. D'autres fractales déterministes sont construites à partir de suites de nombres complexes, par exemple l'ensemble de Mandelbrot est l'ensemble des points c du plan complexe pour lesquels la suite de nombres complexes définie par récurrence par $z_0 = 0$ et $z_{n+1} = z_n^2 + c$, est bornée. Les images obtenues ont souvent émerveillé le public et ont été qualifiées d'art fractal alors qu'il ne s'agissait que de la représentation graphique d'une formule mathématique.



Flocon de Von Koch



Ensemble de Mandelbrot

Nous ne parlerons pas dans ce paragraphe des artistes du mouvement des Fractalistes, je les ai évoqués dans mon mémoire de Master (en annexe D, page 281). Leur démarche ne s'inscrit pas dans le cadre de cette recherche car ils n'utilisent pas les suites mathématiques dans leurs œuvres mais font seulement référence au concept de fractalité

b. Jérémie Brunet

Jérémie Brunet est un artiste numérique qui s'est intéressé à la modélisation mathématique de la géométrie fractale et tout particulièrement les fractales 3D. Il s'éloigne de la simple représentation graphique, fait des choix de couleurs et décide d'arrêter l'itération du processus dans la visualisation de fractales 3D, à des moments qu'il estime intéressant sur le plan plastique. Il est donc l'exemple de l'artiste qui essaie de sortir de la simple représentation d'un objet mathématique fractal pour se rapprocher d'une création artistique.



Jérémie Brunet, *3D Burning Ship*, $Z_{n+1} = (|\operatorname{Re}(z_n)| + i|\operatorname{Im}(z_n)|)^2 + c$, $z_0 = 0$, 2010.

5) Dénombrement et analyse combinatoire

Nous allons maintenant aborder la question du dénombrement en art. Nous avons vu précédemment que dénombrer des objets mathématiques revient à compter tous les objets d'un ensemble fini. Selon les propriétés de ces objets on obtient un nombre fini plus ou moins grand. C'est l'énumération de ces objets qui revient à construire des suites finies. Cette technique du dénombrement se retrouve chez plusieurs artistes. Certains ont pu représenter plastiquement toutes les possibilités dénombrées, c'est le cas de Sol LeWitt comme nous le verrons plus loin, c'est l'« épuisement des possibles ». Pour d'autres, c'est le processus de comptage qui était important, comme chez Albert Ayme qui ne représente que quelques-uns des objets dénombrés.

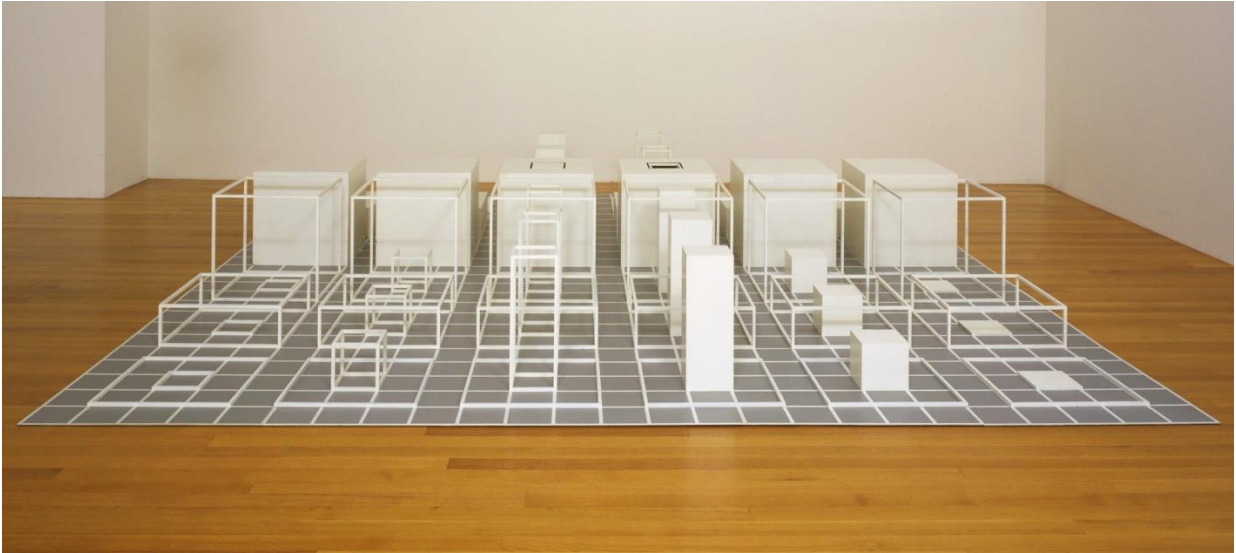
a. Sol LeWitt

Sol LeWitt est un artiste conceptuel qui résume l'utilisation d'objets géométriques par cette phrase : « *ce que vous voyez est ce que vous voyez* ». En effet, le côté dépouillé et sans émotion apparente d'une figure géométrique lui permet de se dégager de tout affect.

Le travail de LeWitt a émergé aux côtés des mouvements d'art minimaliste et conceptuel des années 1960 et combine les qualités des deux. Comme les minimalistes, il utilise souvent des formes de base simples, convaincu que, « *l'utilisation de formes de base complexes ne fait que perturber l'unité du tout* »⁷⁴ ; comme les conceptualistes, il part d'une idée plutôt que d'une forme, initiant un processus qui obéit à certaines règles, et qui détermine la forme. La notion de suite sous-tend le travail de Sol LeWitt lorsqu'il utilise les formes élémentaires que sont le cube et le carré pour réaliser *Serial Project No 1 (ABCD)* en 1966, où il représente une suite exhaustive de cubes ayant 1, 2, 3, 4, 5 ou 6 arêtes visibles, avec toutes les combinaisons possibles de cubes et de carrés, fermés ou ouverts représentées. Dans ce travail il explore la sérialité, que ce soit du point de vue de l'art sériel ou bien d'un point de vue mathématique. Il se confronte à un problème de dénombrement et

⁷⁴ Sol LeWitt, *Paragraphs on Conceptual Art*, Artforum, vol.5 n°10, juin 1967.

utilise l'analyse combinatoire, il y a ainsi une recherche d'épuisement d'une quantité finie d'occurrences, ce qui pourrait s'opposer à toute idée d'explorer la notion d'infini.



Sol LeWitt, *Serial project N°1 (ABCD)*, 1966, Laque sur aluminium, 51 × 414 × 414 cm, Museum of Modern Art (MOMA), New York

Serial Project, I (ABCD) combine et recombine des carrés d'aluminium émaillés ouverts et fermés, des cubes et des extensions de ces formes, le tout disposé dans une grille qui repose sur le sol. Le système de la sculpture produit un champ visuel qui donne au spectateur toutes les informations dont il a besoin pour en démêler la logique complexe. Dans un texte accompagnant cette œuvre, LeWitt expose sa démarche hautement méthodique :

"The aim of the artist would not be to instruct the viewer but to give him information. Whether the viewer understands this information is incidental to the artist; he cannot foresee the understanding of all his viewers. He would follow his predetermined premise to its conclusion avoiding subjectivity. Chance, taste, or unconsciously remembered forms would play no part in the

outcome. The serial artist does not attempt to produce a beautiful or mysterious object but functions merely as a clerk cataloging the results of his premise."⁷⁵ ⁷⁶

En 1974, il crée l'une de ses œuvres majeures, sur les thèmes de la sérialité et de la variation, la série intitulée «*Variations of Incomplete Open Cubes*». L'œuvre est une collection de 122 structures de trame présentées avec les diagrammes correspondants disposés sur une matrice. Chaque sculpture est la projection d'un cube en trois dimensions dont certaines des arêtes sont supprimées, de manière à ce que la structure reste en trois dimensions et que les arêtes restent toutes connectées. Le nombre minimum d'arêtes conservées est de trois et le maximum de onze, il ne représente donc pas un cube complet qui aurait 12 arêtes. Le spectateur est capable de reconstruire mentalement la forme complète du cube à partir des parties restantes. *Incomplete Open Cubes* utilise une technique artistique faisant partie intégrante de l'art des années 1960 : la sérialité. De manière générale, l'art en série est généré par l'application de règles ou de protocoles bien établis. Dans ce cas, Sol LeWitt a systématiquement exploré les 122 façons de «*ne pas faire de cube, toutes les manières du cube n'étant pas complètes*». Compte tenu des règles de départ, l'exercice part de la question simple : «*combien de variations peut-on créer en soustrayant systématiquement des parties d'un cube ouvert ?* ».

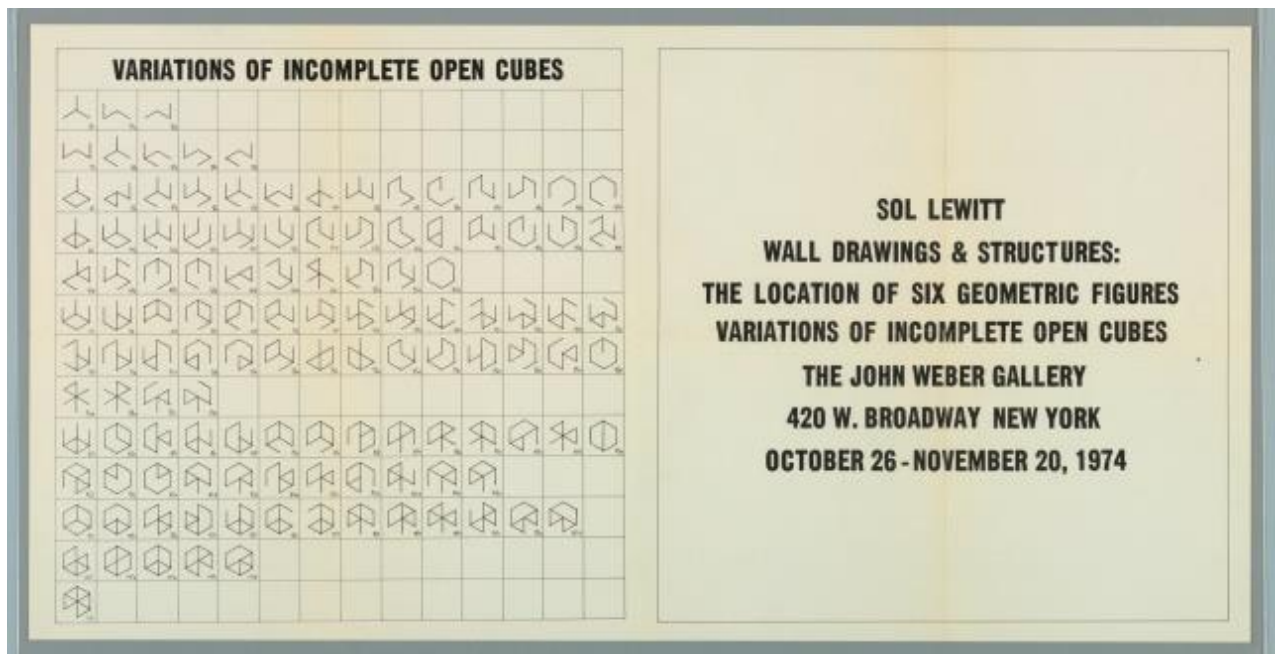
Sol LeWitt a pris la forme de base, connue et universelle, du cube et commence à l'analyser et à la désincarner, privant l'œuvre d'art de tout jugement subjectif, il dit en 1967 : «*L'idée devient une machine qui fait l'art* ». Le travail a été réalisé par l'artiste à travers un long processus impliquant différents supports : dans un premier temps, les cubes étaient esquissés et étiquetés alphabétiquement et numériquement. Il a ensuite réalisé des modèles pour chacun d'entre eux et s'est assuré qu'aucune configuration n'était répétée une fois la structure tournée, les cubes étaient ensuite construits en bois peint et en aluminium. A propos de son travail il dit :

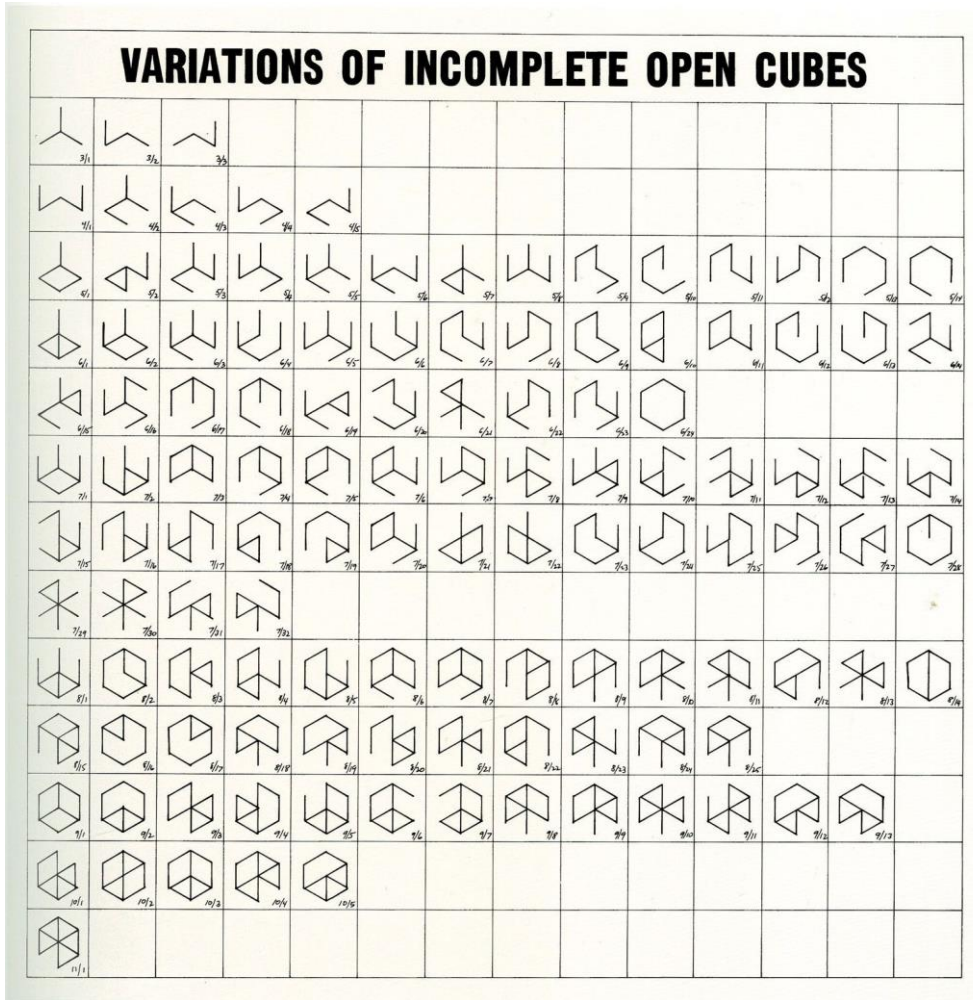
⁷⁵ Texte extrait de *MoMA Highlights : 375 Works from The Museum of Modern Art*, New York, 2019.

⁷⁶ Traduction : «*Le but de l'artiste ne serait pas d'instruire le spectateur mais de lui donner des informations. Que le spectateur comprenne cette information est accessoire à l'artiste ; il ne peut pas prévoir la compréhension de tous ses spectateurs. Il suivrait son protocole prédéterminé jusqu'à sa conclusion en évitant la subjectivité. Le hasard, le goût ou les formes dont on se souvient inconsciemment ne joueraient aucun rôle dans le résultat. L'artiste sériel n'essaie pas de produire un objet beau ou mystérieux, mais fonctionne simplement comme un employé cataloguant les résultats de sa recherche.* »

Mon propre travail des dix dernières années ne concerne qu'une seule chose, des énoncés logiques utilisant des éléments formels comme grammaire.

Avec ce type de travail, Sol LeWitt a préconisé un art qui était, disait-il, «*mentalement intéressant*» mais «*émotionnellement sec*». La couleur, la ligne et la forme, pensait-il, pouvaient être traitées objectivement, comme des unités visuelles élémentaires plutôt que comme des dispositifs expressifs. Il s'est tourné vers la permutation modulaire et sérielle pour définir et représenter ces concepts.

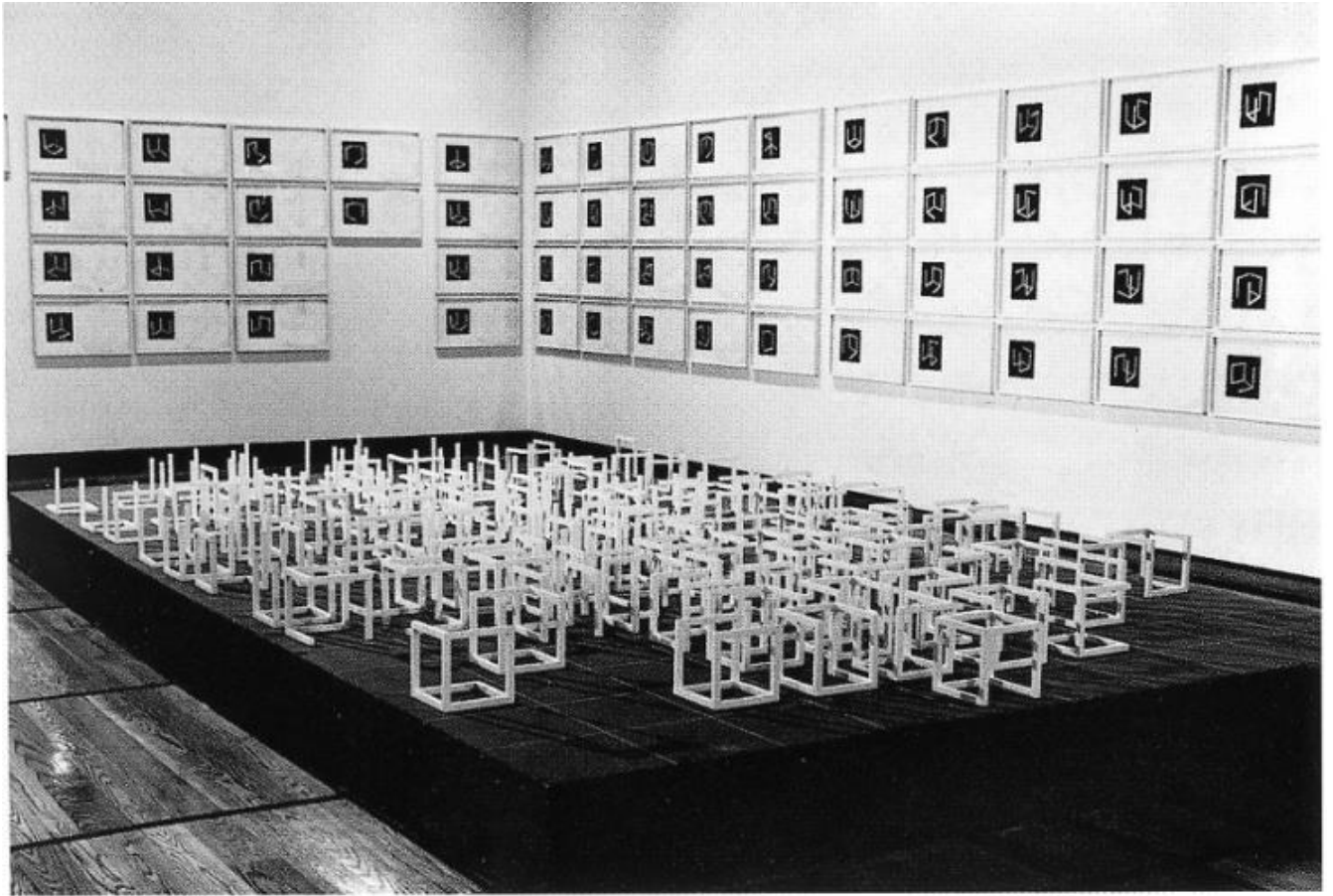




Sol LeWitt, diagramme représentant les 122 éléments de «Variations of Incomplete Open Cubes»

6	A	B	C	D	E	F
(19) 1346810						
(20) 1346812						
(21) 1345710						
(22) 2357812						
(23) 1257812						
(24) (25) 12681112						
(26) (24) 2367812						

Sol LeWitt, *Variations of Incomplete Open Cubes*, croquis préparatoire.



Sol LeWitt, *Variations of Incomplete Open Cubes*, 1974.

Sur la quatrième de couverture de son ouvrage *Geometric Figures and colors* on retrouve ce processus de dénombrement. Six formes, trois couleurs et deux possibilités de couleurs différentes pour un fond carré.

Il obtient ainsi $6 \times 3 \times 2 = 36$ possibilités de combinaisons différentes qu'il combine dans 36 carrés.

Il range ces formes avec méthode, on peut donc dire qu'il a construit une suite mathématique logique.

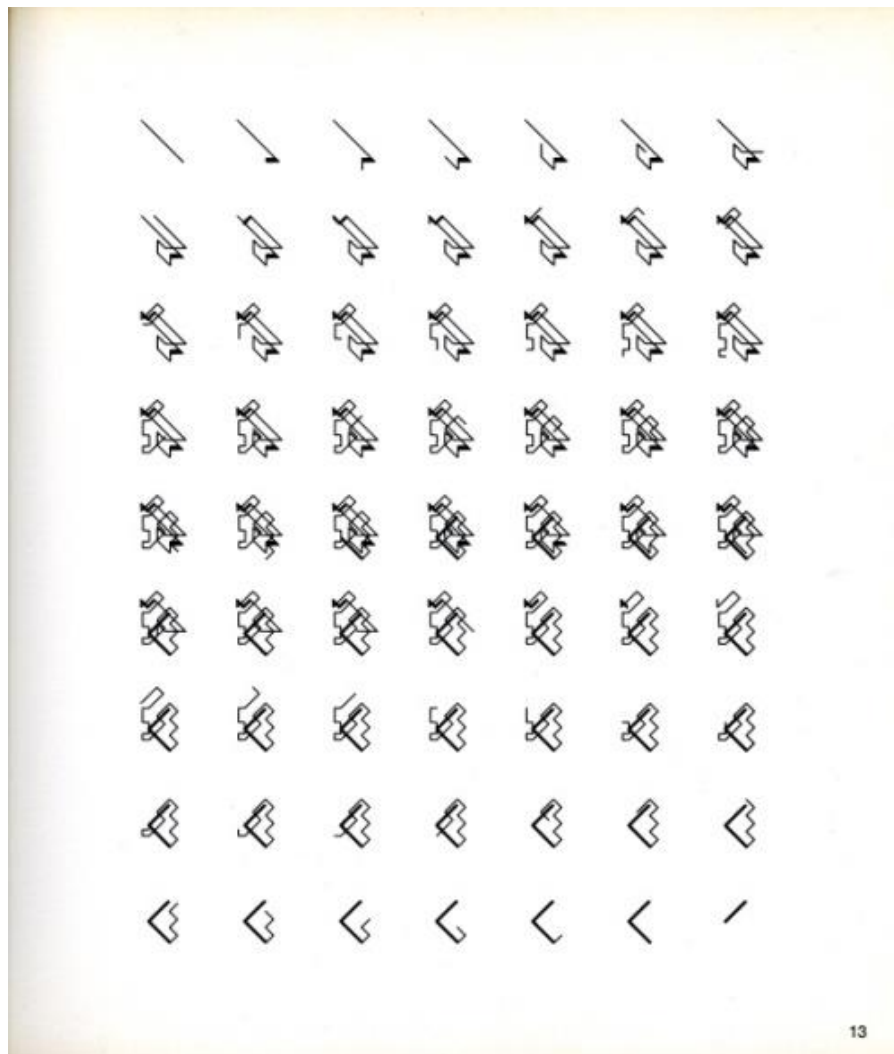


Sol LeWitt, Quatrième de couverture de son ouvrage *Geometric Figures and Color*, 1979.

b. Manfred Mohr

Manfred Mohr est un artiste allemand qui utilise l'ordinateur comme outil artistique. Ses œuvres sont créées de façon programmatique et un certain nombre d'entre elles sont construites comme des suites mathématiques. En 1971, lors de l'exposition « Une esthétique programmée » il présente des œuvres réalisées avec le logiciel FORTRAN IV et dessinées grâce à un traceur BENSON.

On peut citer son œuvre « *Inversion Logique* » construite comme une suite mathématique logique, elle est constituée de 63 structures élémentaires, inscrites dans des carrés de 3×3 cm, chacune d'entre elle se déduisant de la précédente par l'adjonction, puis la suppression d'une ligne supplémentaire générée de façon aléatoire par un programme baptisé « *Programme 21* ».



Manfred Mohr, *Inversion Logique*, 1971

Dans le catalogue de l'exposition « Une esthétique programmée » l'œuvre « *Inversion Logique* » est décrite de la façon suivante :

« "*Inversion Logique*" - Le programme 21 est employé pour générer une structure de 32 lignes dans un carré de 3×3 cm. Le tableau est constitué par 63 sous structures : la n -ième comprenant les n premières lignes si $n < 32$ ou les $64 - n$ dernières lignes si $n > 32$. On reconstitue ainsi pas à pas les étapes du calcul avec le programme 21 et leurs inversions logiques »⁷⁷

Dans le même catalogue, on peut lire :

« Le programme 21 [...] construit des lignes continues générées par une loi aléatoire et filtrées d'après des critères esthétiques qui fixent les probabilités d'apparition des structures élémentaires »⁷⁸

Dans ce type de travail Manfred Mohr fait intervenir le hasard, les lois de probabilité et la notion de suite mathématique. Mais il est intéressant de noter la place tenue par des critères esthétiques dans la construction des protocoles. C'est une différence avec la démarche de F. Morellet qui rejette toute intervention subjective dans ses protocoles.

⁷⁷ Manfred Mohr, *Computer Graphics, une esthétique programmée*, p. 14, catalogue de l'exposition au MAM à Paris en 1971.

⁷⁸ *Ibid.* p.10.

c. Victor Vasarely

Victor Vasarély a créé un « alphabet plastique » à partir d'un module pictural de base, formé d'un carré contenant un motif avec des couleurs et des formes différentes. En utilisant les combinaisons de ces différents motifs il obtient un très grand nombre de possibilités.

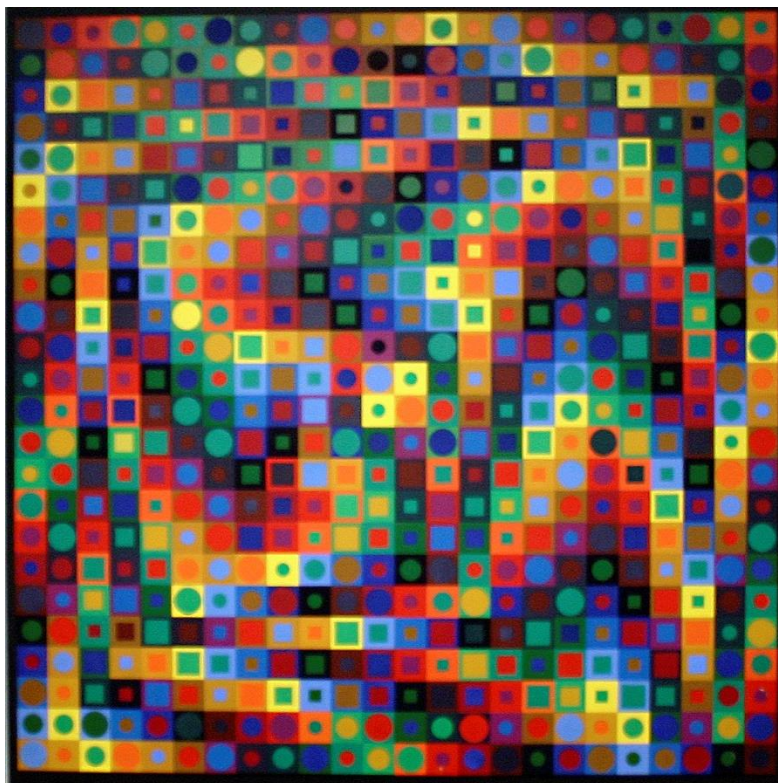
Dans son œuvre monumentale, *Majus*, exposée à la Fondation Vasarely à Aix en Provence, il utilise 576 combinaisons. Il place des cercles et des carrés de différentes tailles et de différentes couleurs à l'intérieur de 576 carrés de taille identique. Il les place, a priori de façon aléatoire, même si, en regardant cette œuvre on ressent un certain mouvement dont on peut se demander s'il est voulu ou non. On obtient une suite mathématique, dans la mesure où chaque élément a une place donnée et où ces éléments répondent à une construction logique.

Dans son œuvre *Orion MC*, il n'utilise que des cercles et des ovales, qu'il place dans 400 carrés de mêmes dimensions.

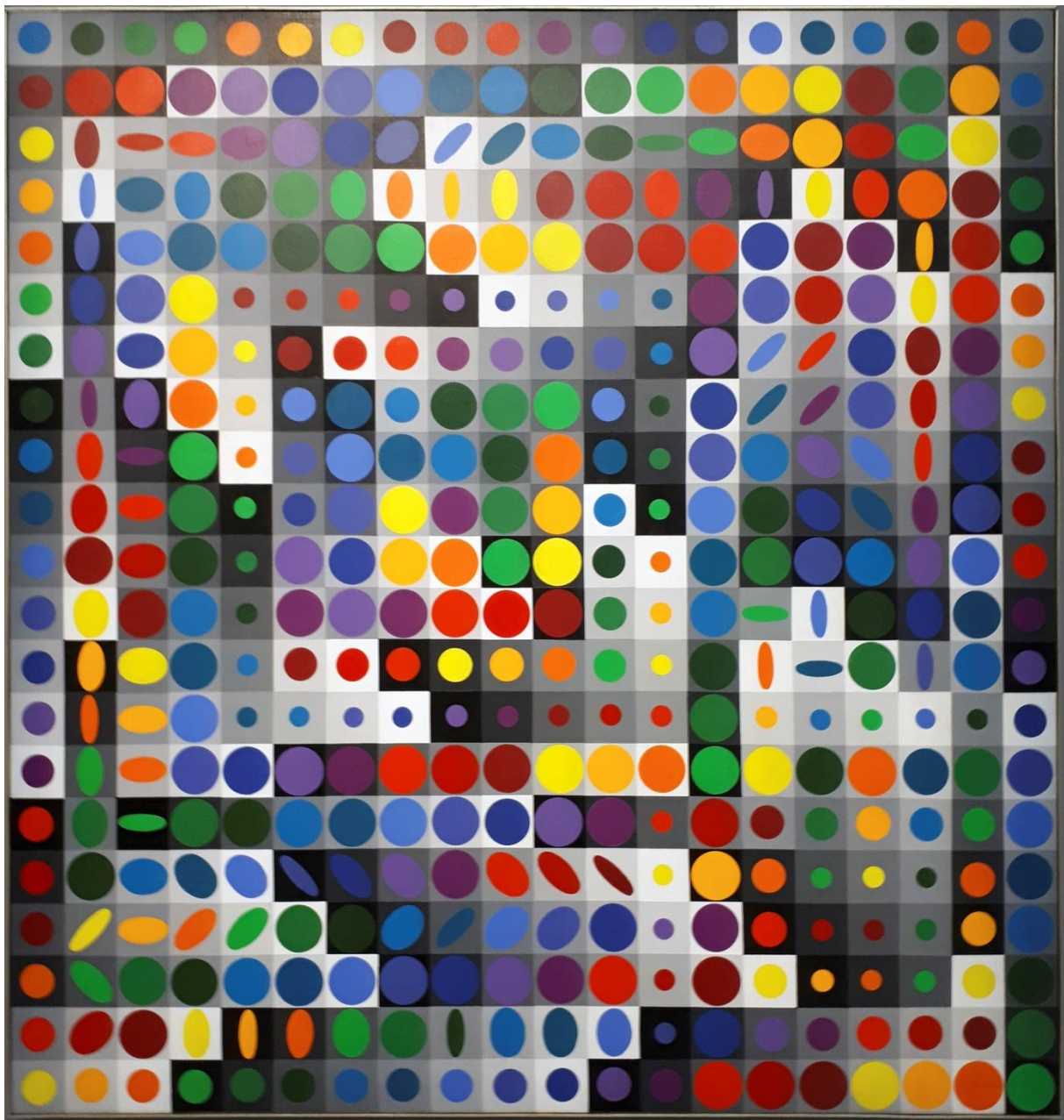
Dans ces deux tableaux il n'a pas fait un dénombrement exhaustif car le choix du nombre important de formes et de couleurs de son alphabet ne permet pas une représentation exhaustive du nombre de combinaisons possibles. C'est ce qu'il dit en présentant son alphabet en 1963:

Avec un alphabet de seulement 30 formes-couleurs, rien qu'au niveau de l'unité plastique prise pour elle seule, je possède déjà plusieurs milliers de combinaisons virtuelles par permutations simple des duos : carré bleu-rond rouge, vert, orangé, violet ; carré bleu-triangle rouge, vert, orangé, etc. selon le nombre d'unités qui entrent dans la composition, 25, 100, 400, 625, etc., par suite de permutations plus complexes et du fait de l'emploi d'unités dont les dimensions sont progressivement croissantes, j'arrive à un nombre de possibilités pratiquement infini.⁷⁹

⁷⁹ Victor Vasarély, in *Entretiens avec Victor Vasarély*, Jean-Louis Ferrier, Paris, éd. Pierre Belfond, 1969, p.66.



Victor Vasarely, *Majus*,
1975, éléments sérigraphiés
en carton, 500 × 500 cm,
Fondation Vasarely à Aix-
en-Provence.



Victor Vasarely, *Orion MC*, 1964, acrylique sur toile, 84 × 80 cm.

d. Auguste Herbin

Nous venons de parler de l'alphabet plastique de Victor Vasarely, ce qui nous amène tout naturellement à évoquer l'alphabet plastique d'Auguste Herbin qu'il met en place en 1942.

Dans son texte *L'art non-figuratif non-objectif*, paru en 1949, Auguste Herbin présente sa vision de l'art, et plus particulièrement de l'art abstrait. Il donne des pistes pour éclairer sa démarche. Il se défend d'avoir une démarche totalement rigoureuse et écrit :

« L'étude des problèmes posés par l'évolution de la peinture prend, en ce qui concerne la forme et la couleur, un caractère scientifique, mais d'une science qu'il ne faut pas confondre avec la science physico-mathématique. [...] Pour le savant physicien objectif et matérialiste, la peinture non-objective est incompréhensible. [...] Considérant que l'art ne peut être que lui-même, l'artiste non-objectif n'a que faire des conceptions de la couleur et de la forme que peut lui enseigner la science physico-mathématique »⁸⁰

Il poursuit la description de sa démarche par une analyse mystique et spirituelle et fait ensuite référence à la religion :

« Le naturalisme et la théorie des couleurs de Newton ont détruit l'art de la peinture. [...] Au commencement est l'Esprit »⁸¹
Ainsi notre conscience s'élève toujours plus haut vers Dieu. Les forces créatrices agissent simultanément. La forme et la couleur se développent en même temps que la matière. »⁸²

Malgré ce scepticisme envers la pensée scientifique, Auguste Herbin élabore son alphabet plastique avec une certaine rigueur, même si les choix de couleur sont souvent le fruit de considérations ésotériques.

⁸⁰ Auguste HERBIN, *L'art non-figuratif, non objectif*, p.13, Editions Lydia Conti, Paris, 1949.

⁸¹ *Ibid*, p. 17.

⁸² *Ibid*, p.129.

Cet alphabet est construit comme une suite logique puisque à chaque symbole (que ce soit une lettre ou une note de musique) il associe des formes et des couleurs. Cette suite peut être considérée comme une suite mathématique car à une lettre donnée est associée une seule couleur ce qui correspond à la définition d'une suite mathématique. Par contre, Auguste Herbin associe plusieurs formes géométriques à une lettre donnée. Il écrit :

« Comme la musique, la peinture a son propre alphabet qui servira de base à toutes les combinaisons de couleurs et de formes »⁸³

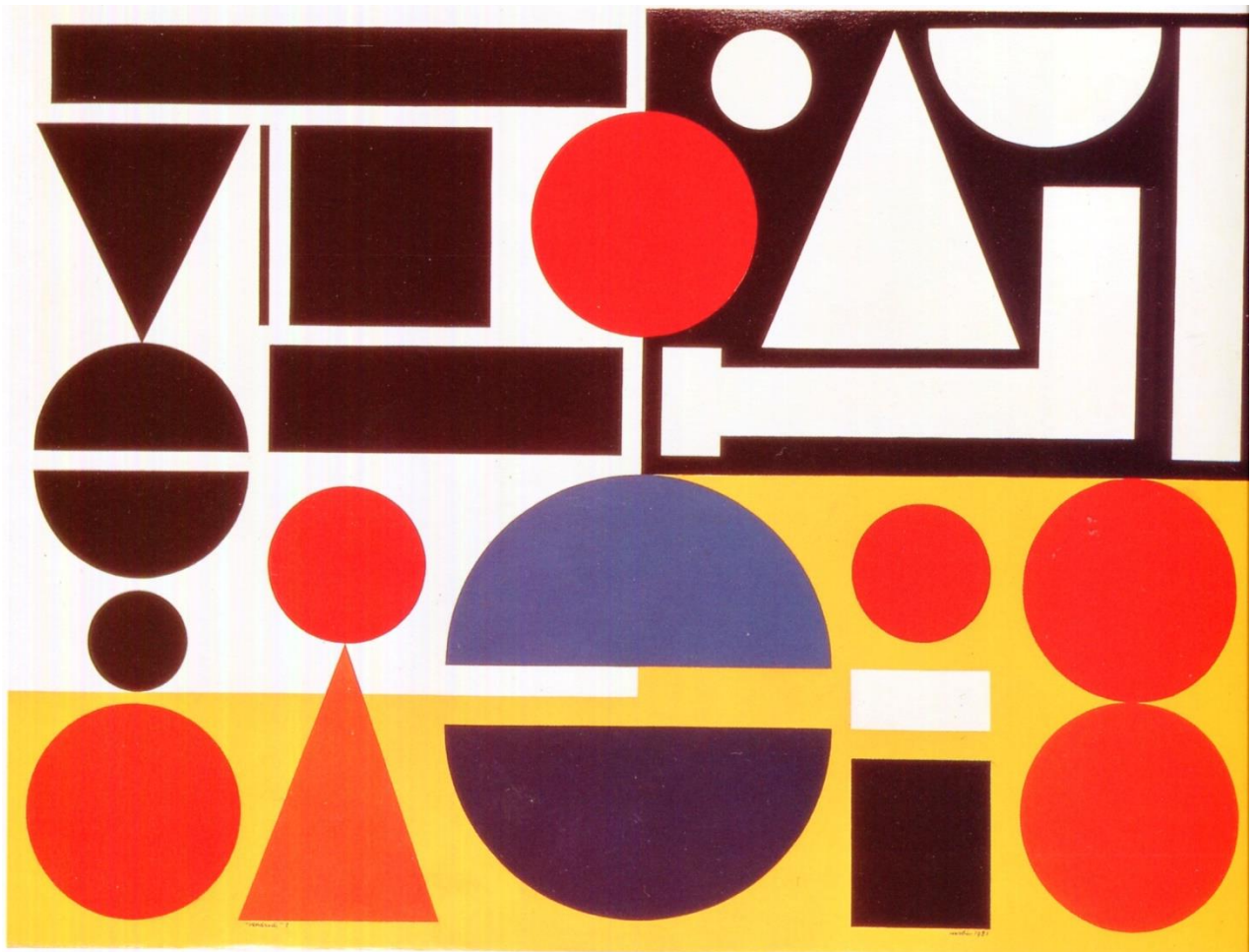
Il utilise cet alphabet plastique pour réaliser des tableaux abstraits composés de formes géométriques issues de cet alphabet, ces tableaux étant des illustrations d'un mot ou d'une idée. Nous pouvons citer, *Soleil I*, 1947, *Amour I*, 1948 ou encore *Vendredi I*, 1951.



Auguste Herbin, *Soleil I*, 1947, huile sur toile, 100 × 81 cm, Musée Matisse, Le Cateau-Cambrésis

Auguste Herbin, *Amour I*, 1948, huile sur toile, 92 × 73 cm, Musée Matisse, Le Cateau-Cambrésis.

⁸³ *Ibid.*



Auguste Herbin, *Vendredi I*, 1951, huile sur toile, 96 × 129 cm, Centre Pompidou.

e. Albert Ayme

Albert Ayme (1920-2012) est l'exemple même de l'artiste qui a trouvé dans les objets mathématiques l'outil indispensable à la mise en œuvre de sa démarche et à la description de sa vision de l'acte de créer. Dès le début de sa carrière il ne montre que peu d'intérêt pour les œuvres figuratives et très rapidement il éprouve le besoin de s'éloigner de toute subjectivité et d'avoir recours à un langage structuré, les mathématiques vont l'aider dans ses recherches. Pour comprendre comment A. Ayme en est venu à travailler sur les carrés magiques, il nous faut d'abord étudier la genèse de son œuvre PARADIGME. À propos de cette œuvre il dit :

*PARADIGME inaugure dans le domaine de l'art un des modèles possibles d'une œuvre combinatoire à croissance illimitée à partir d'un unique carré, œuvre inépuisable que sa structure même prédestinait à un inachèvement consubstantiel, à une infinitude qu'il serait donc vain de poursuivre plus avant.*⁸⁴

Il élabore ses protocoles durant de nombreuses années, il dit :

*« Notion de "Paradigme", clé de toute mon œuvre... Pas moins de 10 années pour poser les règles de bonne formation... »*⁸⁵

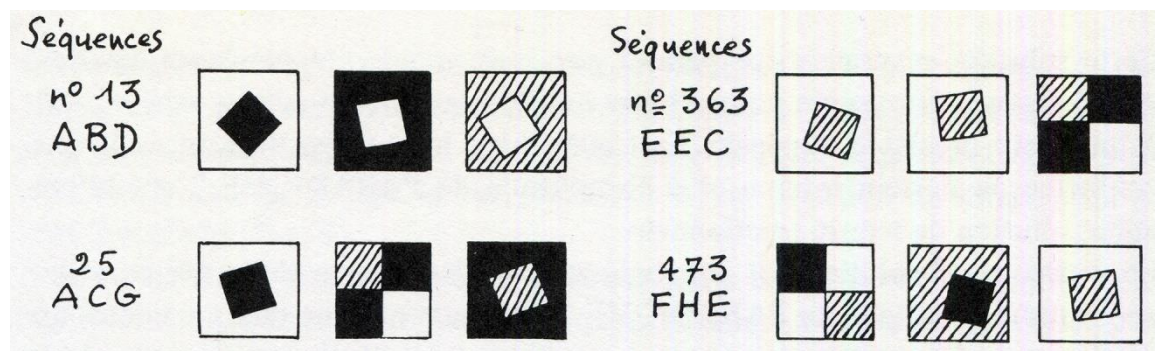
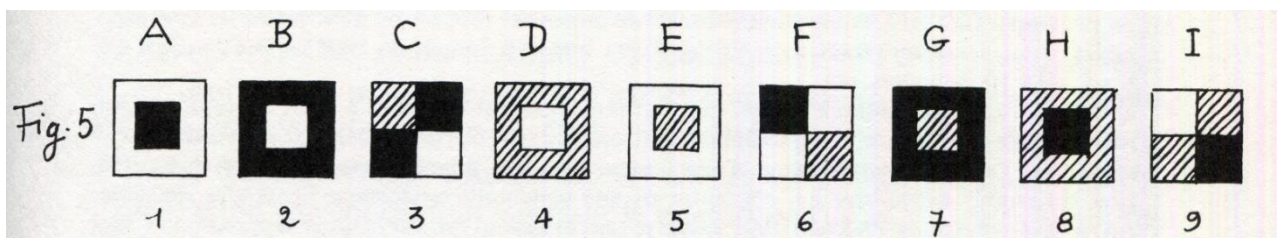
PARADIGME 1 & 2 : ŒUVRES À CROISSANCE ILLIMITÉE AVEC UN SEUL CARRÉ

De 1964 à 1974 il travaille à la mise en place d'un système qu'il baptise PARADIGME où il fait intervenir des signifiants picturaux qu'il associe en paires, comme : fond/forme, addition/soustraction, opacité/transparence, à-plat/découpe, noir/gris, blanc/gris, etc ... Il choisit une forme de départ, un carré qui représente son unité de départ, puis un support carré égal à 4 fois le carré unité de départ. Il

⁸⁴ Albert Ayme, *Vers le carré magique*, édition Traversière, p. 16, 1984.

⁸⁵ Albert Ayme, *Écrits d'un peintre*, 1962 – 1997.

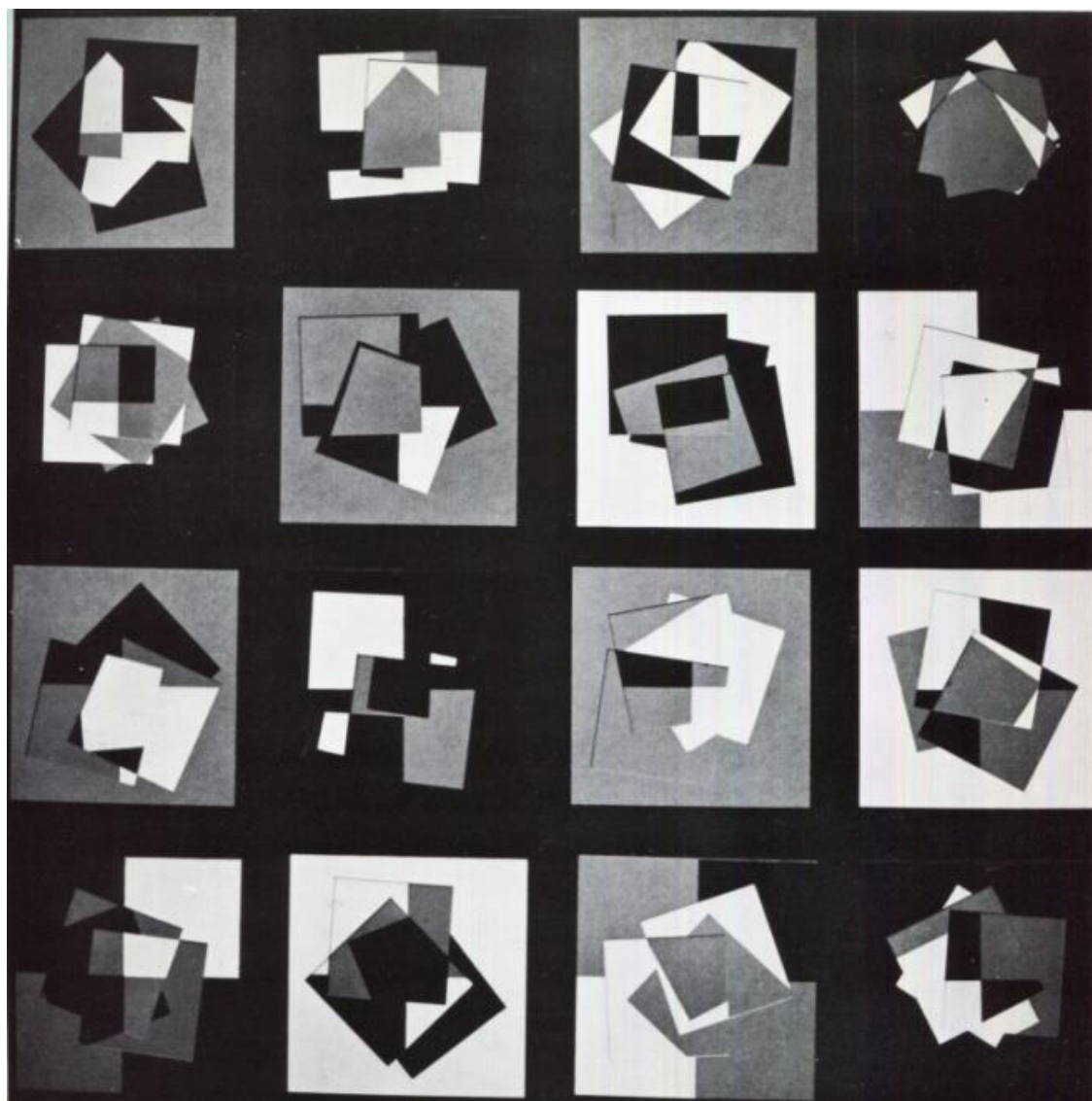
combine ensuite tous ces éléments grâce à un système ternaire qui comprend 3 couleurs, noir, gris et blanc, 3 états du carré unité (A = carré peint, B = carré non peint, C = damier avec inversion symétrique), et enfin 3 champs de cartons superposés, dans lesquels il pratique deux découpes du carré de base. Il crée ainsi un modèle de contraintes qu'il décrit dans un ouvrage intitulé PARADIGME. Pendant une dizaine d'années il cherche à perfectionner ce système, passant ainsi de PARADIGME 1 à PARADIGME 2 en 1982. Son objectif est de dénombrer toutes les combinaisons générées par ces différentes occurrences, *sa formation d'ingénieur lui permettant* d'appliquer facilement l'analyse combinatoire à son modèle. Lorsque son système est abouti il dénombre 9 occurrences de base (fig. 5).



Il crée des séquences ordonnées avec répétition de trois de ces occurrences, il obtient donc $9 \times 9 \times 9$ soit 729 séquences possibles. Il numérote ces occurrences, par exemple, n°1 = AAA, n°81 = AII, n°244 = DAA, n°303 = DGF, n°729 = III.

A ce nombre fini de séquences il ajoute ce qu'il appelle le « postulat fondamental du non-choix », c'est-à-dire que pour une occurrence donnée (sauf les occurrences avec damier) il place le carré intérieur dans une position quelconque. Chaque séquence est constituée de trois cartons qu'il superpose. Il pratique ensuite une double-découpe du carré de base dans des positions quelconques, cette opération soustractive

provoquant une déconstruction aléatoire sur les trois champs superposés. Il passe ainsi d'une suite finie de 729 séquences à une infinité de possibilités pour chaque séquence. Il dira qu'il ne cherche pas à représenter les 729 séquences, il exposera par exemple les 16 séquences ci-dessous.



Albert Ayme, *PARADIGME 2 (seize séquences)*, 1983.

Nous sommes bien dans le domaine des suites mathématiques. Lorsque Albert parle de séquences ordonnées de trois occurrences nous sommes en présence de suites finies de trois éléments.

Lorsqu'il place ces séquences dans un tableau comme *PARADIGME 2*, il fait un choix de 16 séquences parmi les 729 séquences possibles, ces 16 séquences sont ordonnées puisqu'il leur attribue une place donnée sur sa toile. Il définit ainsi ce que l'on appelle en mathématiques une suite extraite de la suite des 729 occurrences totales.

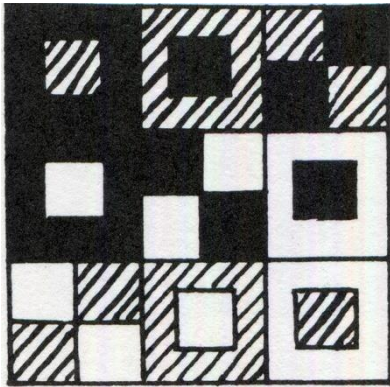
60 AGF	535 GFD	306 DGI	500 GBF
111 BDD	74 AIB	496 GBA	473 [*] FHE
25 ACG	559 GIA	363 EEC	319 DID
651 [*] IAC	613 HFA	193 [*] CDD	532 GFA

Albert Ayme, croquis représentant les 16 séquences de Paradigme 2

6) Carrés magiques

a. Albert Ayme, de PARADIGME vers le carré magique

Après ses longues recherches sur PARADIGME Albert Ayme prend conscience de

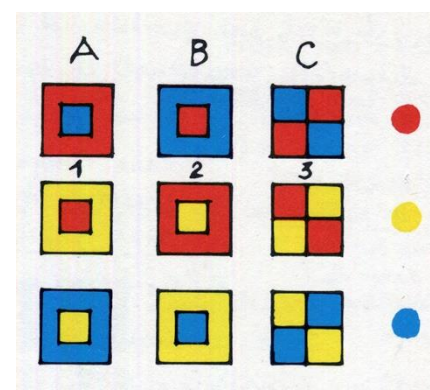


la proximité inattendue de la notion de carré magique. Il parle d'une rencontre symbolique avec le carré magique. En 1983, il publiera « *Vers le carré magique* »⁸⁶ avec le manuscrit de son dossier de travail.

Il reprend les neuf termes des occurrences de PARADIGME et les place dans un tableau carré. Il parle de « matrice d'engendrement » de

PARADIGME.

A chaque état du carré il attribue une lettre, A, B ou C et un chiffre 1, 2 ou 3. Puis il remplace le noir, le blanc et le gris par les trois couleurs primaires, jaune, bleu et rouge. Il abandonne les découpes et va utiliser seulement la superposition transparente des trois couleurs primaires. Il peut les superposer de 6 façons différentes (BJR, BRJ, RBJ, RJB, JBR, JRB), il parle de tressage des couleurs primaires et a longtemps travaillé sur leur interaction dans la superposition (les couleurs complémentaires et des bruns apparaissent). Il obtient ainsi une nouvelle « matrice d'engendrement » (voir ci-contre). Comme dans PARADIGME il crée des séquences ordonnées de trois de ces occurrences, toujours avec 729 séquences possibles.



Il commence à se demander comment il pourrait choisir 9 de ces séquences et les placer dans un tableau qui aurait les propriétés d'un carré magique. A chaque

⁸⁶ Albert Ayme, *Vers le carré Magique*, Albert Ayme, postface de Dora Vallier, édition Traversière, 1984.

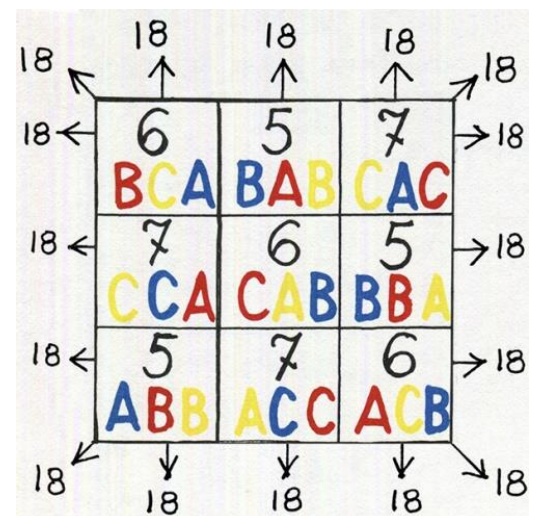
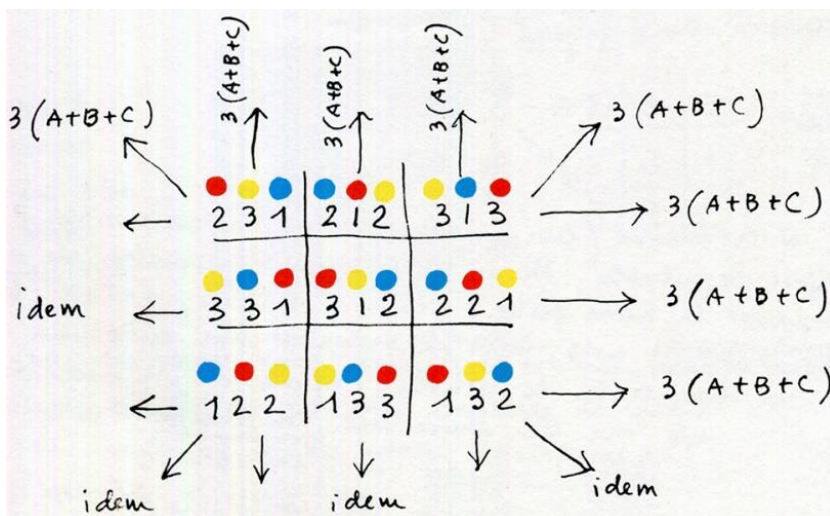
séquence il peut associer trois lettres, par exemple BCA, trois chiffres, 231, la somme N de ces trois chiffres, et enfin une suite quelconque des trois couleurs.

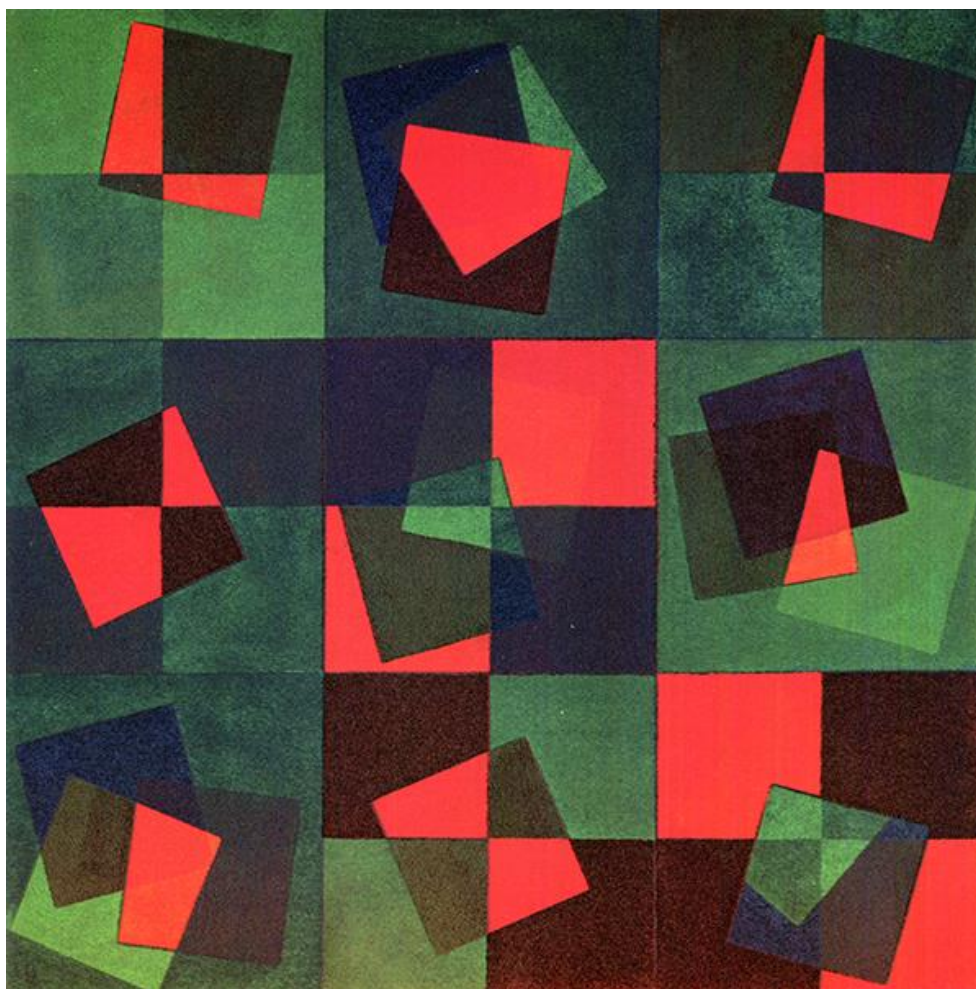
6	5	7
7	6	5
5	7	6

Il veut que sur chaque ligne, chaque colonne et chaque diagonale la somme des occurrences soit égale à $3(A + B + C)$, le total des nombres N soit le même et chaque couleur apparaisse 3 fois. Après de nombreux tâtonnements il constate que le carré ci-contre répond à toutes ces contraintes. Ce carré n'est pas un carré « normal » au sens mathématique du terme, c'est en fait un carré latin de 9 nombres, construit avec les trois nombres 5, 6 et 7 qui

constituent une suite arithmétique de trois termes.

Il obtient donc une grille 3×3 qu'il baptise « carré magique », à partir de laquelle il obtient 6 nouvelles grilles en permutant les couleurs. Si cette grille répond à la condition que la somme des nombres sur chaque ligne, chaque colonne et chaque diagonale est la même, c'est-à-dire 18, néanmoins elle ne correspond pas au critère mathématique d'un carré magique normal qui veut que chaque nombre n'apparaisse qu'une seule fois. Peut-être est-ce pour cette raison que Albert Ayme intitule cette recherche « Vers le carré magique ». Voici donc la grille finale obtenue et sa traduction picturale :





Albert Ayme, *Carré magique n°10*, 1982, pigments purs sur papier chiffon 640 gr.

Albert Ayme a mis en évidence une autre grille 3×3 qui présente les mêmes caractéristiques, celle construite avec les chiffres 4, 6 et 8. Aucune recherche exhaustive de l'existence d'une telle grille n'apparaît dans les cahiers qu'il a publiés. Plaçons-nous maintenant du point de vue du mathématicien, peut-on trouver d'autres grilles 3×3 , répondant aux contraintes édictées par A. Ayme ? La somme magique S d'un tel carré est nécessairement un multiple de 3. D'autre part ces carrés doivent exclusivement contenir les nombres N qui sont nécessairement compris entre 3 et 9 (pour le triplet 111, $N = 3$ et pour le triplet 333, $N = 9$). Donc S est un multiple de 3 compris entre 9 et 27. Les valeurs possibles de S sont donc 9, 12, 15, 18, 21, 24, et 27. Il est aisé de vérifier que seule la valeur 18 permet d'obtenir des sommes égales

à $3(A + B + C)$ sur chaque ligne, colonne et diagonale et que seules les deux grilles évoquées ci-dessus conviennent.

Il cherche ensuite à étendre cette recherche à un « carré magique » 4×4 , contenant 16 éléments. Cette fois encore il trouve un carré latin répondant à sa question. Par contre, ce carré est construit avec les nombres 3, 6, 7 et 8 qui ne constituent pas une suite logique. Voici le carré magique qu'il obtient avec la somme magique de 24 :

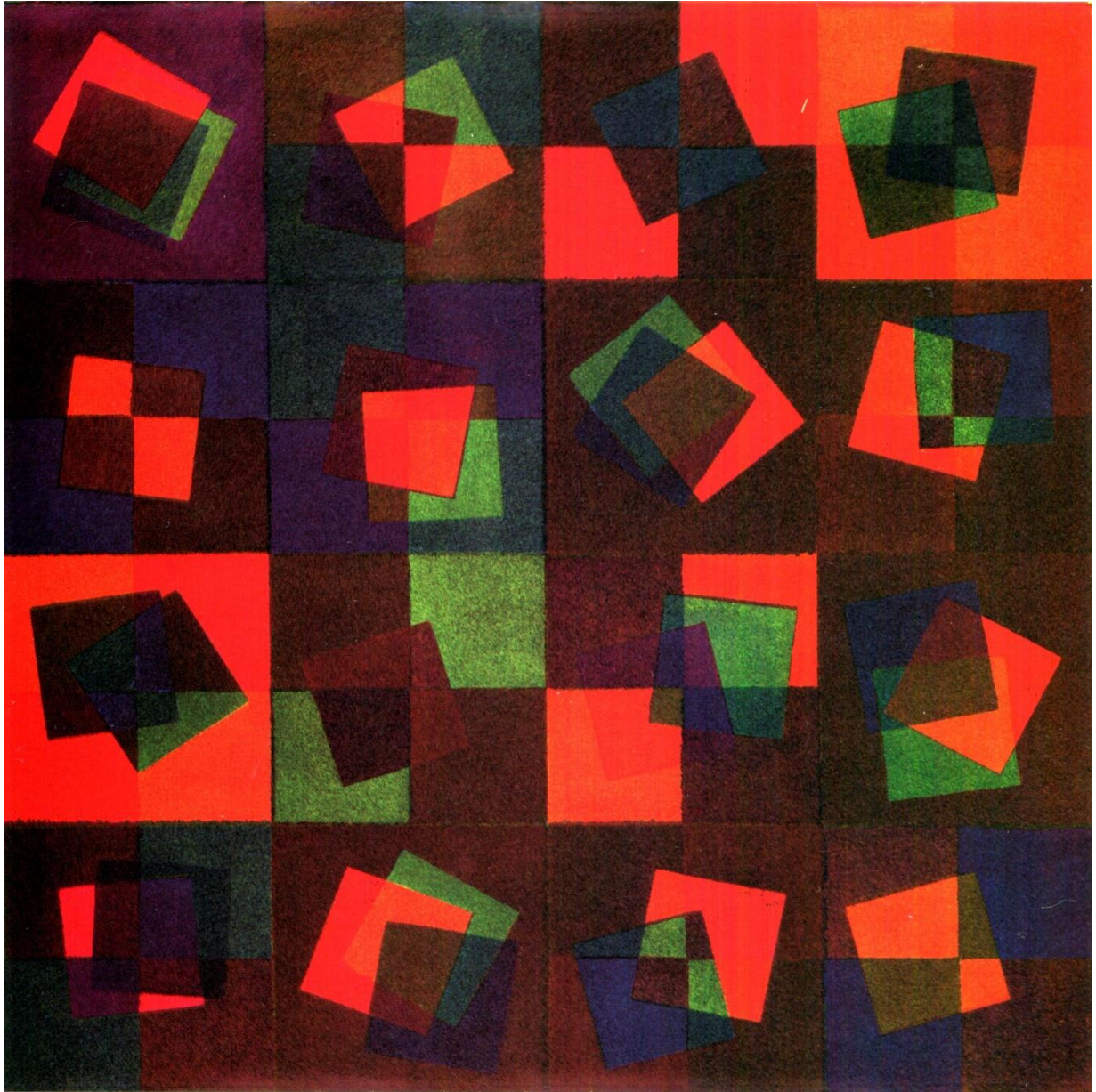
8	6	3	7	
C	C	B	B	C
3	7	8	6	
A	A	A	B	B
7	3	6	8	
B	C	B	A	A
6	8	7	3	
C	B	A	C	C

$4A + 4B + 4C$ $4A + 4B + 4C$

Chacune des
 4 rangées égale
 $4A + 4B + 4C$

chacune des
 4 rangées = $4A + 4B + 4C$

Albert Ayme, grille 4×4 ayant servi à la construction de Carré magique n°32



Albert Ayme, *Carré magique*, 1982, pigments purs sur papier chiffon 640 g, 58 × 58 cm.

Il est intéressant de comprendre la démarche d'Albert Ayme qui est avant tout une recherche d'artiste peintre. Il écrit :

« Dans mon œuvre le logicien (l'auteur conscient) et l'intuitif (le poète) travaillent de concert, et parfois même la logique se trouve anticipée ou déjouée par l'intuition »⁸⁷.

Comme beaucoup d'artistes abstraits, il cherche à éliminer au maximum toute subjectivité, d'où la mise en place d'un protocole. Il recherche une « *méthode aux assises solides impliquant l'alliance de l'intuition et du calcul et capable de susciter une nouvelle donne de la peinture* »⁸⁸, ce qui constitue l'œuvre autant que la réalisation matérielle. Il considère son œuvre « *comme un vaste paradigme logique et cohérent* »⁸⁹. Evidemment le besoin d'un outil logique et structuré l'a amené à se tourner vers les mathématiques. Le choix du carré comme « formant » de base obéit à un critère d'équilibre, de simplicité, comme chez Malévitch ou encore chez François Morellet. Le choix de plusieurs contraintes pour construire ses tableaux l'amène tout naturellement à une œuvre sérielle dont il dénombre les possibilités grâce à l'analyse combinatoire. Et enfin, il rencontre le carré magique dont il dira qu'il était présent de façon latente dès le début de ses recherches. Certes, il n'utilise pas le carré magique normal, le carré magique qu'il utilise étant un carré latin, mais il l'adapte aux nécessités de son projet, ne gardant que les propriétés qui lui sont indispensables.

Il s'inscrit dans cette lignée d'artistes qui ont fait référence au carré magique dans leur œuvre, de Dürer à Paul Klee.

⁸⁷ Albert Ayme, *Vers le carré Magique*, Albert Ayme, postface de Dora Vallier, édition Traversière, p. 22, 1984.

⁸⁸ *Ibid.*, p. 90.

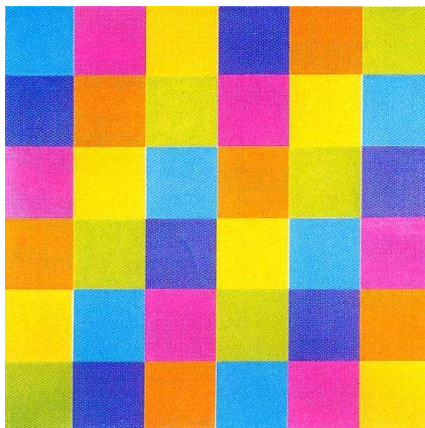
⁸⁹ *Ibid.*, p. 99.

b. Richard-Paul Lohse

Richard-Paul Lohse a été influencé par les théories du groupe Art Concret. La plupart de ses compositions sont structurées par des verticales et des horizontales. La couleur tient une place importante dans ses œuvres :

Les couleurs sont choisies selon un principe strict, posées en aplats, sans facture apparente. La composition est entièrement programmée, les couleurs et les formes étant numérotées et considérées comme des quantités mesurables : le format du tableau est justifié par la composition, puisqu'il se trouve en rapport homothétique avec l'élément de base qui a été choisi comme point de départ. Le tableau devient ainsi l'illustration visuelle d'un système qui est indiqué dans le titre de l'œuvre⁹⁰

Dans l'œuvre ci-dessous, «*Six rangées de couleurs verticales systématiques* » nous reconnaissons un carré magique, l'adjectif systématique indiquant que les carrés de couleur ne sont pas disposés au hasard mais respectent des règles.



1	2	3	4	5	6
4	5	6	2	3	1
2	3	1	5	6	4
5	6	4	3	1	2
3	1	2	6	4	5
6	4	5	1	2	3

Richard-Paul Lohse, *Six rangées de couleurs verticales systématiques*, 1950-1972.

⁹⁰ Serge Lemoine, « LOHSE RICHARD-PAUL – 1902-1988 » *Encyclopedia Universalis*

Ce tableau est composé de $6 \times 6 = 36$ carrés utilisant 6 couleurs différentes. Chaque couleur est présente une fois et une seule dans chaque verticale et chaque horizontale. Deux carrés de même couleur ne se touchent pas par leur sommet.

Si l'on attribue des nombres à chacune des 6 couleurs du tableau on obtient le carré magique ci-dessus. C'est un carré magique d'ordre 6 qui est, en fait, un carré latin puisqu'il ne contient que 6 nombres différents, de 1 à 6, ces 6 nombres constituant une suite arithmétique finie de 6 termes. Un carré magique classique d'ordre 6 contient 36 nombres différents.

Dans le tableau ci-dessous nous ne reconnaissons pas réellement un carré magique, néanmoins les rectangles de couleurs ne sont pas composés au hasard. Sur chaque ligne nous avons la même suite de rectangles de couleurs. Ils sont rangés sur chaque ligne de façon différente, de telle sorte que sur chaque colonne une couleur n'apparaisse qu'une seule fois. C'est un peu le principe du « sudoku » qui est en fait un carré magique particulier.



Richard-Paul Lohse, *Six bandes horizontales comportant chacune six groupes de couleurs formellement égaux*, 1950-1969.

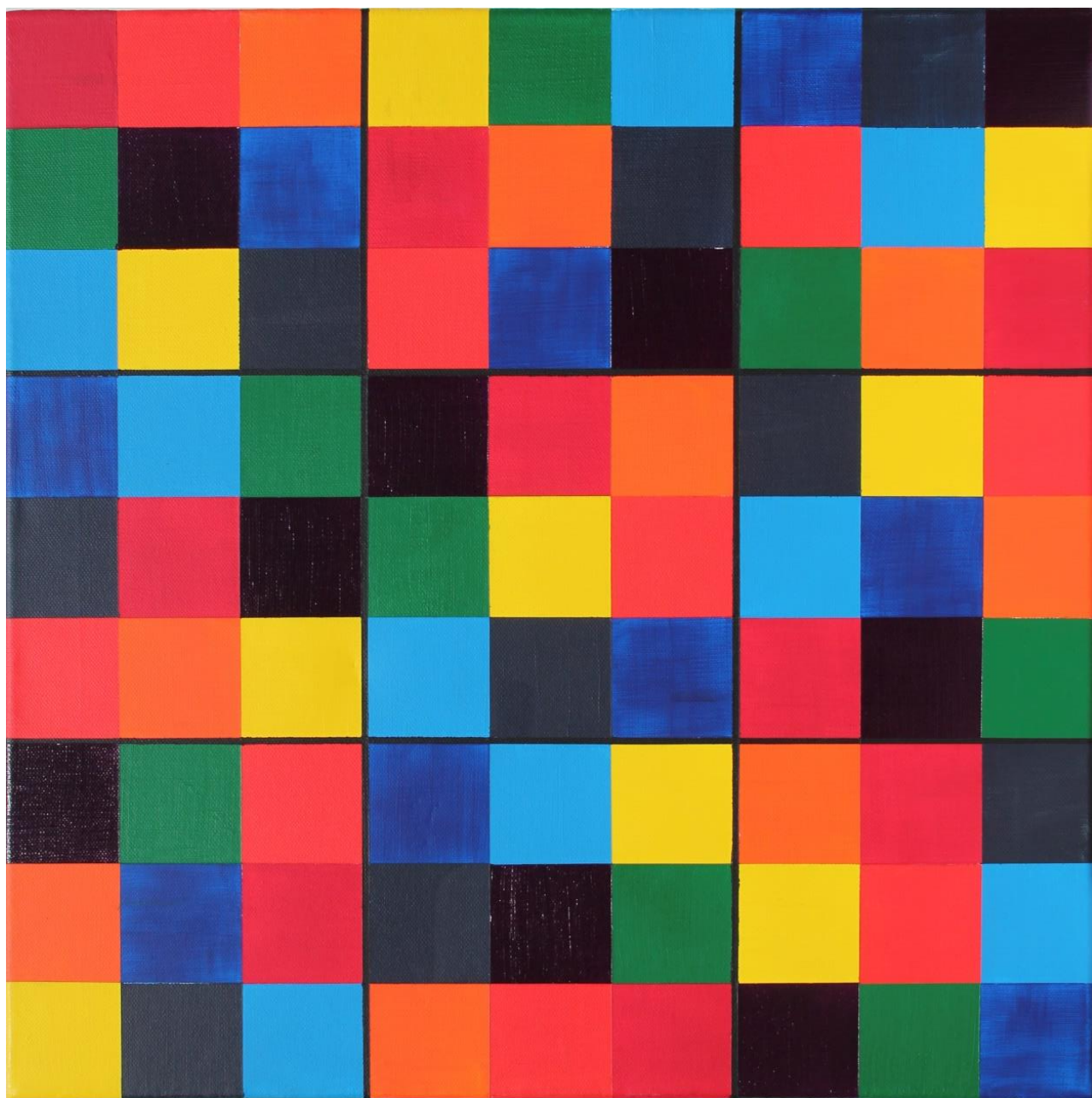
c. Travail personnel sur les carrés magiques

En 2014, j'ai réalisé le tableau « Carré latin, sudoku coloré », en attribuant des chiffres de 1 à 9 à chaque couleur utilisée :

- | | |
|--------------------|------------|
| 1 = rouge magenta, | 6 = cyan |
| 2 = rouge, | 7 = bleu |
| 3 = orange, | 8 = indigo |
| 4 = jaune, | 9 = violet |
| 5 = vert | |

Il faut savoir qu'un sudoku est un carré latin d'ordre 9, construit avec la suite arithmétique des 9 premiers entiers naturels de 1 à 9. Il a de plus, la particularité que chaque chiffre n'apparaît qu'une seule fois sur chaque ligne, chaque colonne et également dans chaque carré 3×3 . La somme magique d'un sudoku 9×9 est 45. Voici le carré latin auquel correspond cette toile :

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	9	7	1	3	8	2	6	4
6	4	8	2	7	9	5	3	1
7	6	5	9	1	3	8	4	2
8	1	9	5	4	2	6	7	3
2	3	4	6	8	7	1	9	5
9	5	2	7	6	4	3	1	8
3	7	1	8	9	5	4	2	6
4	8	6	3	2	1	9	5	7



Denise Demaret, *Carré latin, sudoku coloré*, 2014, acrylique sur toile, 50 × 50 cm.

TROISIÈME PARTIE : ENJEUX ET PERSPECTIVES

I. Bilan de l'analyse plastique

Après cette étude d'un certain nombre d'œuvres d'artistes ayant utilisé les suites mathématiques il nous appartient de tenter de faire un bilan et de dessiner des lignes directrices que nous pourrions retrouver dans ces travaux.

Malgré le choix que nous avons fait de faire une étude quasi-exhaustive de ces œuvres, leur nombre reste néanmoins très limité et il semble difficile de dégager une tendance générale. En effet, les techniques sont différentes, la démarche plastique est variable, les écrits ne sont pas assez nombreux et il serait artificiel de donner une interprétation trop personnelle. Par exemple, si nous n'avons par d'écrits d'Auguste Herbin il serait impossible de retrouver la dimension mystique qui anime ses tableaux. D'ailleurs, il dira :

« Le peintre créateur n'accordera aucune importance aux opinions des historiens, des écrivains, des critiques, dont le métier, même le mieux exercé, ne les autorise en aucune manière à prodiguer des conseils, des leçons, des critiques, des directives sur un métier complètement différent de celui qu'ils exercent, sur des recherches qu'ils ne peuvent comprendre complètement. L'influence néfaste des littérateurs s'exerce particulièrement à propos des œuvres abstraites, des œuvres non figuratives, non objectives, ainsi que des œuvres figuratives dont les déformations outrancières sont interprétées arbitrairement avec des significations absolument étrangères à l'art plastique, attribuant à ses œuvres des intentions qui ne peuvent résister à un examen sérieux. »⁹¹

Dans son processus de création l'artiste peut avoir pour but de reproduire la réalité ou au contraire d'en donner une perception personnelle. L'intérêt de faire cohabiter ces deux univers que sont les mathématiques et l'art, réside dans la possibilité de faire des représentations du monde qui sont des vues de l'esprit, l'artiste n'ayant pas comme

⁹¹ In « Herbin » de Geneviève Claisse, Editions du Grand-Pont, Lausanne/La Bibliothèque des Arts, Paris, 1993.

seule fonction celle de tenter de représenter le monde tel qu'il semble nous apparaître. Dans son ouvrage *Gödel, Escher, Bach*, Douglas Hofstadter dit :

« La différence entre un tableau d'Escher et la géométrie non-euclidienne réside dans la possibilité de trouver des interprétations compréhensibles des termes primitifs de cette dernière, ce qui rend tout le système compréhensible. Dans le cas d'un tableau d'Escher, par contre, il est impossible de réconcilier le résultat final avec notre conception du monde, aussi longtemps que nous le regardions. Il nous reste bien entendu la possibilité d'inventer des mondes dans lesquels les phénomènes eschériens peuvent exister [...] ce qui en ferait des mondes très étranges. »⁹²

Un point commun objectif à toutes ces œuvres que nous venons d'étudier est leur non-appartenance à des mouvements figuratifs et leur éloignement de toute volonté de mimésis. Même si certains éléments figuratifs apparaissent dans quelques œuvres, leur présence relève plutôt d'une démarche conceptuelle comme chez Mario Merz avec ses crocodiles ou ses photographies d'ouvriers dans une cantine. Les artistes qui ont travaillé avec les suites mathématiques sont donc proches des mouvements liés à l'abstraction. Comme nous l'avons vu dans notre étude la dimension conceptuelle et minimaliste est souvent présente.

Dans notre étude nous avons noté aussi que certains artistes jouaient avec la rigueur mathématique et introduisait volontairement des « erreurs », comme André Cadere par exemple. Marguerite Neveux dit :

« À l'opposé des certitudes rigides et rassurantes, se trouve la règle avec sa transgression. La liberté des grands artistes consiste en effet à jouer avec la symétrie et ses brisures, avec l'attendu et sa déviance, avec la structure et son camouflage, pour mieux surprendre notre perception fascinée. »⁹³.

⁹² Douglas Hofstadter, *Gödel Escher, Bach*, ed. InterEditions, Paris, 1985, pp. 111-112.

⁹³ Marguerite Neveux, *op.cit.*, pp. 146-147.

L'utilisation des mathématiques dans l'art, combinant rigueur, hasard et chaos peut donc être un catalyseur très fort pour la création artistique. Cette science est celle qui permet la plus grande distanciation avec le réel. Si l'on compare l'ensemble des domaines scientifiques, on constate que seules les mathématiques peuvent fonctionner en totale autonomie, avec leur langage propre et leur structure rigoureuse, sans avoir besoin de s'appuyer sur d'autres disciplines. Tandis que la physique, la chimie, la biologie ont pour objectif de décrire des phénomènes du monde réel et ont souvent besoin des mathématiques. Les artistes qui ont recours aux mathématiques cherchent un support abstrait qui leur permette de construire un protocole qui limite au maximum toute intervention subjective. Ils ne cherchent pas à illustrer une théorie mathématique, ils cherchent seulement à intégrer des éléments mathématiques dans leur production plastique afin d'exprimer leurs idées. Dans le domaine Art et Sciences, nous pensons que l'association Art et Mathématiques est unique car l'abstraction au sens mathématique rencontre l'abstraction au sens artistique. L'Abstraction artistique recouvre des pratiques assez différentes, l'abstraction dite lyrique fait appel au geste, à l'intuition et ne recherche aucune structure. L'Abstraction dite géométrique s'appuie, quant à elle, sur la rigueur et la réduction de l'impact de la sensibilité de l'artiste. Plusieurs domaines des mathématiques ont été utilisés par les artistes mais la géométrie tient la plus grande place, ce qui s'explique aisément par sa nature visuelle. Nous avons pu remarquer dans notre étude que la majorité des artistes ayant utilisé les suites mathématiques les ont en général associées à la géométrie. Mais certains, comme Mario Merz, ont choisi une utilisation littérale en écrivant la succession des termes d'une suite pour servir leur projet artistique.

La dualité entre déterminisme et chaos, entre précision et hasard, est une richesse incontournable pour l'artiste du XXI^e siècle. Rappelons que la notion de chaos est une notion mathématique chère à René Thom⁹⁴, qui a travaillé sur ce thème en fondant la théorie des catastrophes. La recherche de l'ordre dans le désordre est devenue incontournable. C'est ce qu'expriment les artistes qui ont travaillé avec l'analyse combinatoire, qui ont produit des œuvres « génératives », où le hasard a laissé place à une forme d'ordre.

⁹⁴ René Thom (1923 – 2002) était un mathématicien qui a fondé la théorie des catastrophes.

Chez la plupart des artistes de l'Art Concret ou de l'art géométrique nous constatons une recherche exacerbée de rigueur et une tendance vers une rationalisation de la démarche artistique. Si beaucoup d'artistes de l'Art Concret utilisent la géométrie pour mettre à distance l'émotion, un certain nombre d'entre eux utilisent les formes géométriques sans pour autant faire appel à un protocole rigoureux. Ils réalisent des compositions où ils combinent des formes géométriques en s'appuyant d'avantage sur un ressenti esthétique que sur une construction rigoureuse. Dans l'étude que nous venons de faire nous constatons que l'introduction des suites mathématiques fournit aux artistes un outil qui apporte plus de rigueur à ces constructions, le processus de création s'appuyant alors sur un protocole. Par contre, n'oublions pas que l'artiste qui a recours à un protocole ne fait pas abstraction de la dimension esthétique et qu'il ne recherche pas à faire l'illustration d'une théorie mathématique mais bien plutôt à produire une œuvre plastique.

Cette apparition des suites mathématiques fait partie de la lente évolution du champ disciplinaire de l'art. Dans son article *Multivers*, écrit pour l'encyclopédie Universalis 2011, Aurélien Barrau⁹⁵ s'intéresse à l'existence d'univers multiples et parle de « multivers gigogne ». Il explique que ces recherches sur les multivers pourraient « brouiller les limites de la pratique de la physique ». Ce qui l'amène à faire une comparaison intéressante entre les domaines scientifiques et des domaines extra-scientifiques comme, par exemple l'art. A ce propos il écrit :

*Cette proposition est également attrayante par ses ramifications extra-scientifiques. Elle impose un positionnement ontologique et une réflexion sur ce qui est attendu de la démarche scientifique. Les champs disciplinaires se transforment de l'intérieur : Wassily Kandinsky et Arnold Schönberg n'auraient sans doute pas été considérés comme des artistes par un théoricien de l'esthétique du XIX^e siècle.*⁹⁶

⁹⁵ Aurélien Barrau est astrophysicien et enseignant chercheur à l'université de Grenoble I et au laboratoire de physique subatomique et de cosmologie de Grenoble.

⁹⁶ Aurélien Barrau, *Multivers*, Encyclopédie Universalis 2011.

Cette comparaison d'Aurélien Barrau entre l'univers artistique et la physique qui évolue et pourrait remettre en question certains de ses fondements, nous amène à réfléchir sur l'évolution du monde de l'art et, en particulier sur la place des mathématiques en art. Nous sommes passés des mathématiques utilitaires, comme la perspective, à des mathématiques qui deviennent sujet de l'œuvre ou encore vecteur de protocoles artistiques, comme les suites mathématiques. Pour reprendre une comparaison similaire à celle d'Aurélien Barrau, il est évident qu'une œuvre abstraite construite à partir d'une suite mathématique n'aurait jamais pu être considérée comme une œuvre d'art au début du XX^e siècle. Et pourtant, cette évolution nous paraît inévitable et surtout indispensable, car tout champ disciplinaire qui n'évolue pas est voué à la sclérose, voire à la disparition.

II. Exposition et conférence

Cette recherche s'inscrit dans la problématique Art et Science, mais la science mathématique est la seule qui étudie les êtres abstraits que sont les objets mathématiques qui sont des concepts, contrairement à la physique et à la biologie qui décrivent des objets réels.

On peut aussi penser que les mathématiques sont un modèle de langage qui établit un lien par-dessus la frontière qui sépare le figuratif de l'abstraction. En effet, l'abstraction puise son inspiration dans l'étude des formes, des lignes et des couleurs et dans leur perception. Elle s'appuie donc, très souvent, sur de nombreux éléments scientifiques dont les mathématiques.

Des expositions autour d'œuvres où l'abstraction géométrique est présente, ont déjà eu lieu, mais, pour étayer notre travail de recherche il conviendra d'organiser une exposition qui aborde le thème des mathématiques dans l'art contemporain sous un angle nouveau et pour laquelle il faudra convoquer des artistes contemporains qui ont travaillé sur des suites mathématiques, soit en présentant certaines de leurs œuvres déjà existantes, soit en leur permettant d'intervenir en recréant certaines de leurs œuvres *in situ*.

Une telle exposition permettrait de comprendre les raisons qui ont poussé ces artistes à utiliser ce support abstrait. Il serait souhaitable d'organiser une conférence sur le sujet. Un partenariat avec l'ESMA (European Society for Mathematics and Arts), qui possède un fond d'œuvres dont les auteurs sont pour la plupart des mathématiciens, permettrait d'avoir une réflexion sur le statut de ces œuvres de pouvoir dire à partir de quel moment elles se dégagent de la simple illustration de théories mathématiques pour devenir des œuvres d'art à part entière.

Avant la pandémie, l'IHP (Institut Henri Poincaré) avait été sollicité pour pouvoir organiser une telle exposition dans ses locaux.

III. Création collective

La création, en 1960, du G. R. A. V. par François Morellet, Horacio Garcia-Rossi, Julio Le Parc, Francisco Sobrino, Joël Stein, et Jean- Pierre Yvaral est un bon exemple de collaboration entre artistes. Tous ces artistes ont une pratique qui leur permet de se réclamer de l'Art Géométrique. Vera Molnar a participé à tous les débats qui ont permis la création du GRAV mais elle préféra rester à l'extérieur du groupe, tout en restant très proche de François Morellet dont elle partage l'approche systématique de la création. François Morellet explique les motivations qui l'ont poussé à créer ce groupe : « *Les raisons qui m'ont poussé à faire partie du GRAV ont été pour ma part autant pratiques que théoriques. J'étais très isolé et j'avais trouvé enfin des gens en France qui me semblaient durs, froids, enfin, à première vue pas trop artistes.* ». Les artistes de ce groupe se sentaient isolés car l'Abstraction lyrique, le Nouveau Réalisme, le Pop'Art, étaient très présents dans le paysage artistique de cette période et marginalisaient les artistes qui se réclamaient de l'Art Concret, Minimaliste ou Conceptuel. Ces derniers avaient besoin de contacts et de mutualiser leurs théories sur l'art, ils prônent une simplification et une suppression de l'arbitraire dans leurs œuvres. Ils définissent aussi le rapport visuel entre l'œuvre et l'œil du spectateur, ce qui pose les bases du mouvement de l'Art Optique. La place des mathématiques se retrouve dans ces recherches optiques. Ils prennent position contre un art classique géré par les institutions et se définissent autour d'un grand principe « la dévalorisation de "l'artiste" et du "chef-d'œuvre" au profit de la sollicitation du spectateur ». Un de leur grand projet était de réaliser des œuvres collectives non signées et non commercialisées. C'est ce qu'ils parvinrent à faire avec cinq ou six œuvres construites à partir, par exemple, de labyrinthes, où le spectateur participait à l'œuvre. La première et la plus emblématique de ces œuvres est *Le Labyrinthe* réalisée en 1963, présentée à la Troisième Biennale de Paris et reconstituée au Grand Palais en 2013 à l'occasion de l'exposition Dynamo sur l'Art Cinétique. C'est une installation collective avec un parcours constitué de sept salles où le spectateur est confronté à diverses expériences visuelles, l'accent est mis sur le côté expérimental et immersif de l'œuvre. Des panneaux portant les mentions «défense de ne pas toucher » ou «défense de ne pas casser », jalonnent le parcours du Labyrinthe, c'est une façon, pour les

membres du GRAV, de se démarquer du milieu institutionnel de l'art. Mais au bout de huit ans, en 1968, des velléités individuelles reprennent le dessus et le groupe est dissous. Après cette rupture chaque artiste poursuit son œuvre personnelle, ils restent tous très proches d'un art géométrique ou cinétique, chacun avec leurs spécificités, mais c'est certainement François Morellet qui gardera les principes les plus rigoristes quant à sa manière de mettre en œuvre son art qui garde une sorte de pureté mathématique.

IV. Transdisciplinarité Art et mathématiques, de la recherche mathématique à la création artistique

Nous venons de voir un exemple de projet collectif d'artistes, ces artistes utilisaient les mathématiques mais à un niveau élémentaire, ce qui n'a pas nécessité pour eux d'avoir une collaboration avec des mathématiciens. L'exposition « Mathématiques, un dépaysement soudain » à la Fondation Cartier en 2011 est un exemple de cette volonté de rapprochement, de compréhension mutuelle. Cette exposition a été conçue et préparée par un collectif d'artistes et de scientifiques qui ont mis en commun leurs savoir-faire. Il était très important que cette exposition ait eu lieu dans un endroit qui accueille habituellement de l'Art Contemporain, c'était comme une sorte de reconnaissance que les mathématiques peuvent produire une forme d'art. Cette expérience a associé des artistes comme Jean-Michel Alberola, Hiroshi Sugimoto ou encore le cinéaste David Lynch ainsi que des mathématiciens comme Jean-Pierre Bourguignon, Alain Connes ou Cédric Villani. L'objectif n'était pas d'exposer une série importante d'œuvres à connotation mathématique, mais plutôt de favoriser une rencontre entre représentants de deux univers et des regards croisés sur deux pratiques différentes. Les productions présentées lors de cette exposition sont très variées et pour certaines d'entre elles ce sont des œuvres collectives. Les artistes qui ont participé à cette grande expérience avaient pour but de se mettre au service des mathématiciens et de tenter de traduire, chacun dans son domaine artistique, leur pensée abstraite, ce qui est très novateur, car au cours de l'histoire de l'Art ce sont plutôt les mathématiques, et parfois les mathématiciens, qui ont aidé les artistes. Le photographe Raymond Depardon, aidé de la productrice de cinéma Claudine Nougaret, leur a donné la parole et leur a permis d'exposer leurs idées devant un public fasciné, peu habitué à entendre ces mathématiciens habituellement enfermés dans leurs laboratoires. On peut aussi parler de la collaboration entre le mathématicien Misha Gromov, le cinéaste David Lynch et la chanteuse Patti Smith pour réaliser la Bibliothèque des mystères de Misha Gromov. C'est une grande salle circulaire pouvant faire penser à une bibliothèque dans laquelle David Lynch projette plusieurs vidéos, avec la voix de Patti Smith, où l'on voit se succéder des textes de scientifiques ou philosophes célèbres illustrant les mystères du monde selon Misha Gromov. Ces

quatre mystères sont, la nature des lois de la physique pour le premier, celui de la vie pour le deuxième, en troisième vient le rôle du cerveau et enfin le quatrième mystère est celui de la structure mathématique. Quant à Jean-Michel Alberola, il a choisi de cartographier la pensée d'Henri Poincaré en présentant une sorte de ciel étoilé sous forme d'une grande fresque murale, chaque étoile étant, soit le titre d'un texte de Henri Poincaré, soit une allusion à une découverte mathématique, toutes ces étoiles étant reliées entre elles selon les liens qui les unissent. Pour réaliser cette œuvre J.M. Alberola a collaboré avec le mathématicien Giancarlo Lucchini. Pour terminer la visite de cette exposition nous pouvons parler de l'œuvre de Hiroshi Sugimoto, une sculpture qui est une surface de révolution à courbure négative constante et qui montre parfaitement la possibilité de dépasser la simple illustration mathématique. Le choix des dimensions et des matériaux utilisés, ainsi que la scénographie (l'œuvre était seule dans une grande salle) et surtout le choix de l'équation, tout ceci confère à cette sculpture le statut d'œuvre d'art. En créant cette œuvre, H. Sugimoto qui avait déjà exposé en 2004 à la Fondation Cartier sa série *Conceptual Forms*, reprend la tradition des modèles mathématiques créés à la fin du XIX^{ème} et au début du XX^{ème} siècle, dont un certain nombre sont exposés à l'Institut Henri Poincaré à Paris et qui ont inspiré le photographe américain Man Ray ainsi que les Surréalistes. Cette exposition à la Fondation Cartier est un exemple intéressant de collaboration entre artistes et mathématiciens car l'approche de cette interaction était avant tout basée sur les notions d'échange et de compréhension et non pas sur des transferts de compétence.

Nous voyons apparaître une nouvelle génération de mathématiciens qui s'intéresse à l'art et qui, grâce au développement de l'outil numérique se tournent vers une expression artistique. Une association européenne l'E.S.M.A (European Society for Mathematics and the Arts)⁹⁷ a été créée afin de réunir dans une même démarche, des artistes et des mathématiciens. L'objectif de cette association est de mener une réflexion sur les liens entre la création artistique et les mathématiques en organisant des conférences en Europe, mais aussi des expositions. Les conférences organisées, en 2012 à Bruxelles, en 2013 à Cagliari, en 2016 à Ljubljana, ont un programme qui tourne autour du lien Art et Mathématiques. Si des artistes non mathématiciens sont présents, la majorité des intervenants est constituée de mathématiciens, quelques-uns

⁹⁷ ESMA, <http://www.math-art.eu>.

ayant aussi une pratique artistique. Cette association est davantage orientée vers la réflexion plutôt que vers un travail collaboratif, les œuvres créées étant essentiellement individuelles, néanmoins les colloques réunissent de nombreux participants qui viennent de toute l'Europe et même des Etats-Unis, et permettent des rencontres et des échanges qui sont très fructueux.

Dans le cadre de ce lien entre recherche mathématique et création artistique, citons le travail de Gilles Baroin, mathématicien chercheur, enseignant à l'ENAC à Toulouse, qui étudie la musique sous un angle mathématique et décrypte de nombreuses œuvres musicales à l'aide de notions mathématiques. Il obtient en 2011 un Doctorat intitulé « Applications de la théorie des graphes à des objets musicaux : modélisations, visualisations en hyperspace. » dans le cadre de l'Ecole doctorale Arts, Lettres, Langues, Philosophie, Communication à Toulouse. Il est intéressant de noter que cette recherche sous-tendue par les mathématiques a été possible dans une Ecole doctorale dédiée aux Arts et aux Lettres. Pour mettre en place ses modélisations il utilise le *Tonnetz* (*réseau tonal* en allemand), qui est un graphe créé par Leonhard Euler en 1739, et s'appuie sur la théorie des groupes et les cycles hamiltoniens pour mettre en évidence des symétries dans la structure musicale des morceaux étudiés. Pour plus de précisions il faut se référer à l'article écrit par Moreno Andreatta dans la revue *Tangente*⁹⁸. Il propose une modélisation visuelle de ces résultats dans son modèle Planet en deux et quatre dimensions). Etant également musicien, G.Baroin organise des concerts où le spectateur se retrouve plongé dans un univers musical et visuel où les mathématiques sont clairement visibles mais donnent à cette production un caractère très poétique.

L'un des enjeux de la réflexion sur les liens entre l'Art et les Mathématiques est d'approfondir les liens innovants qui se tissent entre la recherche mathématique et la création artistique. La collaboration entre artistes et scientifiques se développe. Dans la revue *Plastik*, à l'occasion d'un entretien avec Elsa Ayache, Christian Jacquemin, chercheur au LIMSI du CNRS, dit : « Un bon travail art/science implique que l'artiste se comporte en scientifique à certains moments et que le scientifique mette en œuvre ses capacités créatrices ainsi que sa sensibilité artistique.» et il ajoute : « Le propre du

⁹⁸ Moreno Andreatta, *Math'n'pop, géométrie et symétrie au service de la chanson*, Hors-série n°51, Esthétique et éthique, Revue *Tangente*, ed. Pole, Paris, 2013, pp. 92-97.

travail art/science est profond et subtil car il se joue dans la genèse de l'œuvre et non dans sa réalisation. Est-ce qu'une collaboration avec un scientifique pour un artiste produit une œuvre différente de ce qu'il produirait seul, indépendamment de tout support technologique ? »⁹⁹. Les recherches de C. Jacquemin se font au sein du LIMSI (Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur) au CNRS, et sont en lien avec la problématique de la réalité augmentée. Il travaille beaucoup avec l'artiste Bertrand Planes qui réalise des vidéos et différentes œuvres performatives.

Quelle nouvelle forme de collaboration pourrait être mise en place afin de développer une vraie forme de recherche entre artistes et mathématiciens ? Ces liens entre recherche mathématique et création artistique pourraient être développés dans le domaine des grandes conjectures mathématiques non encore démontrées. La recherche mathématique sort progressivement de l'obscurité des laboratoires, en témoigne l'importante médiatisation de la médaille Fields attribuée au mathématicien français Cédric Villani en 2010 pour ses travaux en théorie cinétique de l'équation de Boltzmann, qui ont des répercussions dans les modèles de mécanique classique en astrophysique. La fin du XXème siècle a vu d'autres avancées significatives comme la théorie mathématique des ondelettes qui a permis de développer le format d'image JPEG 2000 et de faire des progrès dans le domaine de l'image numérique, dans la compression et la transmission de ces images, ce qui a définitivement modifié notre environnement visuel. Malgré quelques exemples mis en lumière, les découvertes mathématiques restent très méconnues et leur impact sur la société est le plus souvent ignoré. Certains sujets mathématiques, comme la conjecture de Syracuse, dont l'énoncé est compréhensible par un collégien, font encore l'objet de recherches et il est encore difficile de savoir si leur démonstration aura un impact sociétal. C'est également la course vers la découverte de nouveaux nombres premiers, toujours plus grands, afin de pouvoir protéger nos codes secrets avant que les progrès faits par les ordinateurs ne permettent de décrypter rapidement les clés qui protègent les cartes S.I.M. de nos téléphones portables ou les codes de nos cartes bancaires. Quel regard

⁹⁹ Elsa Ayache et Christian Jacquemin, Discussion Elsa Ayache / Christian Jacquemin, *Etre ici et là : la relativité générale et la physique quantique*, 8 janvier 2010, Revue Plastik [en ligne], Plastik #01- Disponible sur Internet : <http://art-science.univ-paris1.fr/plastik/document.php?id=153>.

avoir sur ces recherches abstraites mais dont le progrès technologique se nourrit ? Les artistes qui travaillent sur les suites numériques peuvent-ils avoir un rôle sociétal en mettant en évidence la place prépondérante des nombres dans notre société par le biais des codes et en dénonçant les risques liés à une utilisation non contrôlée ? Que proposent les artistes à propos des grandes conjectures qui laissent le monde mathématique en haleine ? Beaucoup de collaborations entre artistes et scientifiques se résument souvent à un apport technologique qui permet d'élaborer une œuvre plastique conçue par un artiste, et il arrive que ce qui est qualifié de collaboration ne soit en fait qu'un transfert de compétences, et non pas un réel échange sur le plan des idées. L'expérience de la Fondation Cartier est peut-être un des exemples les plus proches de ce que l'on peut attendre d'un échange biunivoque, pour reprendre un terme mathématique. Gageons que ce type de collaboration se multiplie et soit de plus en plus riche pour les artistes et les mathématiciens.

CONCLUSION

Après ce travail de recherche sur les suites mathématiques dans l'art contemporain nous pouvons nous poser la question suivante : qu'apporte l'utilisation des suites mathématiques par rapport aux autres notions mathématiques sur le plan de la démarche artistique et de l'émotion esthétique ?

Afin de répondre à ces questions nous avons fait le choix de l'exhaustivité, ce choix a été permis par le petit nombre d'artistes ayant travaillé sur les suites. N'étudier que quelques artistes et leurs œuvres n'aurait pas permis d'ébaucher des questions sur la place des suites dans l'art et encore moins de trouver des réponses. Nous avons fait le choix de classer les artistes selon la nature des suites utilisées, ce choix mathématique nous paraissant moins aléatoire qu'un classement selon des critères esthétiques.

Nous avons observé que la démarche artistique peut varier d'un artiste à l'autre, ainsi nous pouvons dire que, le plus souvent, l'utilisation récurrente d'une suite dans l'œuvre d'un artiste a pour objectif de définir un protocole plastique, c'est ce que nous retrouvons, par exemple, chez François Morellet ou encore Charles Bézic. Il nous semble donc que l'une des grandes différences entre le domaine des suites mathématiques et d'autres notions mathématiques, est la possibilité de définir un protocole précis et rigoureux pouvant se décliner plastiquement sous des formes différentes.

Nous avons également constaté que les œuvres que nous venons d'étudier se situent presque toutes dans le champ de l'abstraction et sont très éloignées de la figuration même si parfois quelques éléments figuratifs se glissent dans certaines d'entre elles, mais avec un objectif conceptuel. L'analyse et l'interprétation d'une œuvre abstraite est plus complexe que celle d'une œuvre figurative. Dans notre étude nous avons surtout eu un regard de mathématicien, avec une recherche rigoureuse de la présence des suites mathématiques et l'étude de la manière dont elles sont présentées, voire représentées. Nous pouvons distinguer deux types de processus, soit l'artiste utilise délibérément les suites mathématiques, en connaissance de cause, soit elles sont sous-

jaçentes et c'est notre regard de mathématicien qui les fait surgir dans l'œuvre. C'est la distinction que nous pouvons faire entre les œuvres ayant recours à la suite de Fibonacci, où l'utilisation de ces suites est volontaire, et les œuvres représentant des bandes de largeur régulière dans lesquelles le mathématicien voit des suites arithmétiques constantes alors que l'artiste n'a vu qu'un protocole comme, par exemple, chez Daniel Buren. Dans ce dernier cas nous pouvons dire qu'il y a une part d'interprétation dans notre analyse, puisque c'est notre étude qui fait apparaître la présence des suites, il est donc très important de faire la distinction entre la volonté délibérée et l'usage passif de suites mathématiques par les artistes.

Lorsqu'un artiste introduit délibérément une suite dans son travail, nous pouvons distinguer deux approches différentes. Si nous prenons l'exemple de la suite de Fibonacci, nous avons soit une référence conceptuelle, comme chez Mario Merz, soit la possibilité de mettre en place un protocole plastique rigoureux comme chez Charles Bèzie. Il y a cette même recherche d'un protocole mettant à distance toute forme de subjectivité dans l'utilisation de la suite des décimales de π chez François Morellet.

Selon que l'artiste est proche de l'Art géométrique ou plutôt de l'Art Conceptuel l'approche plastique est différente. Dans le cas de l'art géométrique le recours à des formes géométriques et des aplats de couleurs s'approche d'une abstraction absolue et est différent d'une approche plus conceptuelle où les suites deviennent un sujet plastique permettant d'exprimer une idée.

Le progrès des technologies fait évoluer les artistes et les scientifiques dans le même environnement technologique, surtout avec l'utilisation de l'ordinateur. Cette évolution a permis une explosion du monde de l'image et met l'accent sur les similitudes entre l'art et les mathématiques. Cette intrusion des nouvelles technologies dans le monde de l'art a surtout permis à de nombreux artistes de créer des œuvres dont la construction est plus rigoureuse. Il pourrait être envisagé des protocoles alliant suites mathématiques et art numérique, le lien fort entre ces deux univers en serait renforcé et serait un réel moteur pour la création artistique

Lorsque les artistes ont utilisé les suites mathématiques, nous avons constaté dans notre étude qu'ils les ont généralement associées à la géométrie. Lorsque les suites sont interprétées de façon géométrique il semble qu'on atteigne un outil optimal permettant de générer un protocole très précis et laissant le moins de place possible à la subjectivité. Se pose alors la question de l'émotion esthétique devant une œuvre comportant des suites mathématiques. Cette question se pose de la même manière qu'avec toutes les productions de l'Art en général, mais nous pouvons essayer de voir les spécificités de cette réception dans le cas des suites mathématiques. Si nous nous référons à l'esthétique au sens de la philosophie de l'art, nous sommes face à l'étude de la perception d'une œuvre d'art, du ressenti émotionnel du spectateur, des notions de beau et de sublime. Dans le cadre de notre étude il est difficile d'émettre des conclusions que l'on pourrait qualifier de scientifiques. Nous pensons qu'il est ici nécessaire de faire la distinction entre l'intention de l'artiste et le ressenti émotionnel du spectateur, car cette intention nous paraît moins évidente à cerner pour le regardant que dans d'autres domaines artistiques. Si l'on prend l'exemple de l'artiste qui crée une œuvre géométrique sans protocole particulier mais en se laissant simplement guider par son intuition, nous pouvons l'opposer à l'artiste qui fait une construction basée sur les suites mathématiques, posons-nous alors la question de la réception de ces œuvres. Il nous semble que, si le protocole n'est pas clairement précisé par l'artiste, le spectateur non initié aux mathématiques ne ressentira pas de différence quant à la conception de l'œuvre et donc à sa réception. Par contre, un spectateur initié aux mathématiques et à leur utilisation en art sera très sensible à cette présence des suites mathématiques. Rappelons toutefois que l'objectif de l'artiste se réclamant de l'abstraction géométrique est de réduire au maximum l'impact sensible entre lui-même et son œuvre, cette distance se retrouve-t-elle entre l'œuvre et le regardeur ? A ce stade de notre étude il nous paraît difficile d'avoir une réponse argumentée sur ce point, même si, il nous semble que la réception est plus difficile avec une œuvre géométrique comportant des suites mathématiques. De notre point de vue cette question de l'émotion esthétique dans le cadre des suites mathématiques dans l'art pourrait faire l'objet de recherches plus approfondies sur un grand nombre de spectateurs devant ces œuvres.

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES GÉNÉRAUX

- APERY Roger (cf. « Mathématique constructive », in *Penser les mathématiques*, Paris, Seuil, 1982)
- ALBERTI Leon Battista, *De Pictura*, Paris, Macula Dédale, 1992.
- Art + Mathématiques*, Modélisations mathématiques et transformations artistiques des données du réel, sous la direction de Yann Toma et Antoine Mandel, Éditions Jannink, 2020.
- AYME Albert, *Paradigme*, 1976, Œuvre à croissance illimitée à partir d'un unique carré, texte de Jean Ricardou, Édition Traversière, 1976.
- AYME Albert, *Vers le carré Magique*, Albert Ayme, postface de Dora Vallier, édition Traversière, 1984.
- AYME Albert, *Écrits d'un peintre, 1962 – 1997*, édition Traversière, 1998.
- BADIOU Alain, *Eloge des mathématiques*, Flammarion, Café Voltaire, 2015.
- BARTHES Roland, *Œuvres complètes*, Tome IV, Paris, Editions du Seuil, 2002 (1972).
- BAUDRILLARD Jean, *Simulacres et Simulation*, Editions Galilée, 1981.
- BRIGGS John & PEAT E. David, *Un miroir turbulent, Guide illustré de la théorie du chaos*, Paris, InterEditions 1991.
- BRUNET Jérémie, *L'art fractal, aux frontières de l'imaginaire*, Éditions POLE, 2014.
- CARROLL Lewis, *Logique sans peine*, Paris, Hermann, 2006.
- CHIROLLET Jean-Claude, *La Question du détail et l'art fractal, à bâtons rompus avec Carlos Ginzburg*, Paris, L'Harmattan, 2011.
- CLAISSE Geneviève, *Herbin*, Editions du Grand-Pont, Lausanne/La Bibliothèque des Arts, Paris, 1993.
- CLEYET-MICHAUD Marius, *Le Nombre d'or*, Paris, Puf, Que sais-je ?, 1975.
- CONDÉ Susan, *La Fractalité dans l'art contemporain*, Paris, La Différence, 2001.
- DELEUZE Gilles, *L'Épuisé*, Paris, les Editions de Minuit, 1992.
- DUPÉRON Isabelle, *Gustav Théodor Fechner : Le parallélisme psychophysique*, Presses universitaires, Paris, 2000, 128 p. ECO Umberto, *Vertige de la liste*, Flammarion, 2009.

ERNST Bruno, *Des Mondes impossibles*, Cologne, Taschen, 2002.

ESCHER M.C., *M.C.Escher*, Cologne, Taschen, 2006.

ESCHER M.C., *La Magie de M.C.Escher*, Cologne, Taschen, 2003.

FIELD Michael, *La Symétrie du chaos, A la recherche des liens entre mathématiques, art et nature*, Paris, InterEditions, 1993.

FOX WEBER Nicholas, *Anni and Josef Albers, Equal and unequal*, Phaidon, 2020.

GAGNEBIN Muriel, *Pour une Esthétique psychanalytique*, Paris, Puf, 1994.

GLEICK James, *La Théorie du chaos*, Paris, Flammarion, Champs sciences, 2008.

HERBIN Auguste, *L'art non figuratif non objectif*, Paris, Editions Lydia Conti, 1949.

HOFSTADTER Douglas, *Gödel, Escher, Bach*, Paris, InterEditions, 1985.

JORN Asger, *Pour la Forme*, Paris, Editions Allia, 2001.

KANDINSKY Wassily, *Du spirituel dans l'art*, Munich, 1912.

KANDINSKY Wassily, *Point et ligne sur plan*, Saint-Amand, folio essais, 2009.

LEMOINE Serge, *François Morellet*, Paris, Flammarion, 2011.

LEWITT Sol, *Artforum*, vol.5 n°10, juin 1967.

LEWITT Sol, *Geometric Figures and Color*, 1979.

LOHSE Richard Paul, 1950.

LYOTARD Jean-François, *Discours, Figure*, Paris, Editions Klincksieck, 1971.

LYOTARD J.F., *La Condition postmoderne*, Paris, les Éditions de Minuit, 1979.

LYOTARD J.F., *Le Postmodernisme expliqué aux enfants*.

MALEVITCH Kazimir, 1920.

MANDELBROT Benoît, *Les Objets fractals, Forme, hasard et dimension*, Flammarion, coll. Champs, 1995.

MONDRIAN Piet,

MORELLET François, *Mais comment taire mes commentaires*, Ecole nationale supérieure des beaux-arts, Paris, 1999.

MORIN Edgar, *Introduction à la pensée complexe*, Paris, ESF éditeur, 1990.

OUAKNIN Marc-Alain *Mystères des chiffres*, Editions Assouline, 2003.

SEUPHOR Michel, *Dictionnaire de la peinture abstraite*, 1957.

SEUPHOR Michel, *La Peinture abstraite, sa genèse, son expansion*, 1962.

NEVEUX Marguerite, *Le Nombre d'or, radiographie d'un mythe*, Paris, Seuil, 1995.

RAGON Michel, *Journal de l'art abstrait*, 1992.

READ Herbert, *Histoire de la peinture moderne*, 1960.

SCHUSTER Peter-Klaus, in *Melencolia I Dürer et sa postérité*, catalogue *Mélancolie génie et folie en occident*, Paris, Galeries nationales du Grand Palais, 10 octobre 2005 - 16 janvier 2005, ed. Gallimard, Paris, 2005.

SEUPHOR Michel, *Dictionnaire de la peinture abstraite*, 1957.

SEUPHOR Michel, *La Peinture abstraite, sa genèse, son expansion*, 1962.

THOM René, *Stabilité structurelle et morphogenèse*, InterEditions, Paris, 1972.

THOM René, *Paraboles et catastrophes*, Flammarion, col. Champs sciences, 1983.

WEBER Nicholas Fox, *Anni et Josef Albers*, 2020, Phaidon.

OUVRAGES LITTÉRAIRES

BECKETT Samuel, *Quad*, Paris, Les Editions de Minuit, 1992.

BORGES Jorge Luis, *Fictions*, Folio, 2010.

CAROLL Lewiss, *Alice au Pays des Merveilles*.

GIDE André, *Les Caves du Vatican*, Paris, Le Livre de Poche, 1966.

KAFKA, *La Métamorphose*,

SOMOZA José-Carlos, *La Théorie des cordes*, Paris, éd. Actes Sud, 2007.

REVUES ET ESSAIS

AYACHE Elsa et JACQUEMIN Christian, Discussion Elsa Ayache / Christian Jacquemin. *Etre ici et là : la relativité générale et la physique quantique*, 8 janvier 2010, revue Plastik [en ligne], Plastik #01- : <http://art-science.univ-paris1.fr/document.php?id=153>. ISSN 2101-032.

BUCCI-GLUCKSMANN Christine, in Catalogue Le Temps fractal, Galerie Xippas, Paris, 2000.

DEBAILLEUX Henri-François, *Entretien avec Jean-Claude Meynard*, in Meynard, Fragments Editions, Paris 2004.

DÉSANGES Guillaume, *Théorie de l'art moderne / Théorème de l'art maudit*, MAC/VAL, Le Comptoir des Indépendants, 2010, p.30.

Du travail collectif à l'œuvre, sous la direction d'Olga Kisseleva, Les Nouvelles éditions

GONTARD Marc, *Le Roman postmoderne*, 2003, <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00003870/fr/>.

LEWITT Sol, *Paragraphs on Conceptual Art*, Artforum, vol.5 n°10, juin 1967.

LOI Maurice (sous la direction de), *Mathématiques et arts*, Paris, Hermann, 1995.

Le Réel en Mathématiques, Psychanalyse et Mathématiques, textes réunis par Pierre Cartier et Nathalie Charraud, Dijon, Algama, 2004.

Les Fractales, Art, Nature et Modélisation, Tangente, Hors Série n°18, Gap, Editions Pole, 2004.

RILEY Bridget, *L'esprit de l'œil*, p.93, écrits d'artistes, Beaux-arts de Paris les éditions, 2008.

CATALOGUES ET SITES

FOMENKO, Anatoliï, *Mathematical Impressions*, the American Mathematical Society, 1980.

HERBIN 1882-1960, *Exposition Céret et Cateau-Cambrésis*, Editions Anthèse, Arcueil, 1994.

HOTTER Gerhard, site :

<http://www.gerhardhotter.de/Daten/F/F%20malerei/F%20PI/F%20PI%20auswahl%20text.htm>

LEAL Brigitte, *Mondrian, De Stilj*, Paris, Éditions du Centre Pompidou, 2010.

MOHR Manfred, *Computer Graphics, une esthétique programmée*, catalogue de l'exposition au MAM à Paris en 1971.

PAR HASARD, Exposition au Centre de la Vieille Charité à Marseille du 21 octobre 2019 au 31 janvier 2020, Flammarion.

RICHTER Gerhard, *Motifs*, Paris, Centre national d'art et de culture Georges Pompidou, 2012.

RICHTER Gerhard, *4900 Colours*, 2008.

VIRILIO Paul, *Ce qui arrive*, Editions Galilée, Paris, 2002.

<http://www.albertayme.com/>

<http://hermay.org/ARPAM/cpeugeot09/catalogue.pdf>

<http://www.math-art.eu> (ESMA, European Society for Mathematics and the Arts)

<http://www.nart.com>

<http://www.fractalartcontests.com/2007/about.php>

<http://hypermedia.univ-paris8.fr/Groupe/documents/crefrac.html>

ARTICLES

- ANDREATA Moreno, *Math'n'pop, géométrie et symétrie au service de la chanson*, Hors-série n°51, Esthétique et éthique, Revue Tangente, ed. Pole, Paris, 2013.
- BARRAU Aurélien, *Multivers*, Encyclopédie Universalis 2011.
- BOCHNER Mel, « *Serial Art, Systems, Solipsism* », Arts Magazine, Summer, 1967.
- BOCHNER Mel, *The serial attitude*, 1967, p. 31, *Arforum décembre 1967*.
- DELAHAYE Jean-Paul, *La conjecture de Syracuse*, revue Pour la Science, N° 247, mai 1998, p. 100 à 105.
- Entretiens avec Victor Vasarély*, Jean-Louis Ferrier, Paris, éd. Pierre Belfond, 1969.
- JUDD Donald, *Specific Objects*, Arts Yearbook8, 1965.
- JUDD Donald, *Écrits 1963-1990*, traduction en français Annie Perez, Paris, Daniel Lelong éditeur, 1991.
- LIPPARD Lucy R. Lippard, *Hanne Darboven : deep in numbers*, *Artforum* octobre 1973.
- MONDZAIN-BAUDINET Marie-José, « Série, art », Encyclopédie Universalis, <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/serie-art/>
- PIERRE Arnault, *Art Concret*, Encyclopédie Universalis.
- PIGUET Philippe, « *Bernar Venet, de l'art et des mathématiques* » — *Images des Mathématiques*, CNRS, 2012, entretien avec Bernar Venet, écrit par Aurélien ALVAREZ.
- L'art face à la crise : 1929-1939*, p. 338. Actes du 4e Colloque d'Histoire de l'Art Contemporain tenu à Saint-Étienne les 22, 23, 24 et 25 mars 1979, volume 26 du Centre Interdisciplinaire d'Etude et de Recherche sur l'Expression Contemporaine, Éditeur Université de Saint-Étienne, 1980.
- MoMA Highlights : 375 Works from The Museum of Modern Art*, New York, 2019.
- Texte publié par l'ARC (Animation, Recherche, Confrontation) à l'occasion de l'exposition sur Mario Merz en 1981 au Musée d'Art Moderne de la Ville de Paris, Interview de l'artiste par S. Pagé et J.C. Ammann.
- VAN DOESBURG Théo, *Abstraction et création*, cahier édité par l'association Abstraction et création, 1932, Source gallica.bnf.fr / BnF.
- VASARELY Victor, in *Entretiens avec Victor Vasarély*, Jean-Louis Ferrier, Paris, éd. Pierre Belfond, 1969.
- WÖRLER Jan, *Folgen in der Konkreten Kunst (Les suites dans l'Art Concret)*, *mathematik lehren* 157, 2009.

MÉMOIRES

BEUREY Françoise, *Opacité et infini, l'œuvre et le temps*, thèse de doctorat, Paris 1, 2007.

DEMARET Denise, *L'Enseignement des mathématiques dans les classes littéraires, le Nombre d'or*, mémoire de maîtrise, Jussieu, Paris VII, 1976.

DEMARET Denise, *Chaos et Fractalité*, mémoire de Master 2 sous la direction de Monsieur Michel Sicard, Paris 1 Sorbonne, 2011.

JULLIEN Caroline, *Esthétique et modes opératoires en mathématiques, Une exploration goodmanienne*, Thèse de Doctorat, Nancy, 2006.

LAJOIE Josiane, *La Géométrie fractale*, mémoire de maîtrise, Université du Québec à Trois-Rivières, 2006.

MIGIRDICYAN Eva, *Les Modèles mathématiques dans l'art du XXème siècle*, Thèse de doctorat, 2011.

ICONOGRAPHIE

ŒUVRES D'ARTISTES

ALBERS Joseph, <i>Homage to the square, Affectionate</i> , 1954, huile sur isorel, 81 × 81 cm....	97
ALBERS Joseph, <i>Hommage au carré, sur ciel proche</i> , 1963.....	100
ALBERS Joseph, <i>Hommage au carré, doux dense</i> , 1969.....	100
ANDRE Carl, <i>Nineteenth Copper Cardinal (Dix-neuvième cardinal en cuivre)</i> , 1975, Dix-neuf plaques de cuivre, 50 × 50 cm	115
AYME Albert, <i>PARADIGME 2 (seize séquences)</i> , 1983	222
AYME Albert, <i>Carré magique n°10</i> , 1982, pigments purs sur papier chiffon 640 g, 58 × 58 cm	226
AYME Albert, <i>Carré magique</i> , 1982, pigments purs sur papier chiffon 640 g, 58 × 58 cm	228
BEUREY Françoise, <i>La Constellation de Peano</i> , 2001-2005, contre-plaqué, fil électrique, séquenceur, papier calque, négatifs photographiques, 344,5 × 320,5 cm	310
BÉZIE, Charles, <i>Cadences</i> , 2003, 41 × 41 cm.....	63
BÉZIE Charles, <i>Gradations</i> , 2002, acrylique sur toile, 100 × 30 cm	64
BÉZIE Charles, <i>Suite Fibonacci, N°1408</i> , 2005, acrylique sur toile, 180 × 106 cm.....	65
BÉZIE Charles, <i>Suite de Fibonacci</i> , 2003, acrylique sur toile, 100 × 32 cm	68
BÉZIE Charles, <i>Suite de Fibonacci</i> , 2002-2004, acrylique sur toile, 40 × 22 cm.....	68
BÉZIE Charles, <i>Fiborythm</i> , 2009, acrylique sur toile, 80 × 80 cm	69
BÉZIE Charles, <i>Pour saluer Pierre Soulages</i> , 2010, acrylique sur toile, 120 × 121 cm.....	70
BÉZIE Charles, <i>Ortholude</i> , 2015, acrylique sur toile, 80 × 60 cm	71
BÉZIE Charles, <i>Ortholude n°1612</i> , 2015, acrylique sur toile	72
BOCHNER Mel, <i>Counting by five</i> , 1971, encre noire sur papier, 13,3 × 11 pouces (34,9 × 27,9 cm).	35
BOCHNER Mel, <i>3</i> , 1966, encre sur papier millimétré, 8,5 × 11 pouces.....	183 et 201
BOCHNER Mel, <i>Counting Alternatives, Asterisk Branch</i> , 1971, photogravure, 20 × 15 pouces	185
BUREN Daniel, <i>Peinture [manifestation 3]</i> , mai 1967, peinture à l'acrylique, toile de coton à rayures blanches et rouges de 8,7 cm de large chacune.....	117
BUREN Daniel, <i>Les deux Plateaux</i> , 1986, sculpture permanente in situ	118

BRUNET Jérémie, <i>3D Burning Ship</i> , $Z_{n+1} = (\operatorname{Re}(z_n) + i \operatorname{Im}(z_n))^2 + c$, $z_0 = 0$, 2010.....	202
CADERE André, <i>Six barres de bois rond</i> , 1975, bois peint, 120 cm.	196
CADERE André, <i>Untitled</i> , 1977, barre en bois	198
CADERE André, barre ronde en bois, rouge, bleu, orange, vert, jaune, et violet, 1975.	198
CADERE André, barre ronde en bois, vert, jaune, orange, rouge	199
COLONNA Jean François, <i>Synthèse fractale de montagnes avec de la végétation et des nuages d'orage</i>	304
DALI Salvador, <i>La Queue d'Aronde-série des catastrophes</i> , 1983	316
DARBOVEN Hanne, <i>Sehs Filme nach sehs Büchern</i> , 1968	188
DARBOVEN Hanne, <i>KI-Zeichnung</i> , 1966-1967, mine graphite sur papier, 66 × 60 cm,	189
DECRAUZAT Philippe, <i>Slow-Motion-Blue-2014</i>	122
DECRAUZAT Philippe, <i>Five Star</i> , 2007, acrylique sur toile, 118 × 143 cm.....	122
DECRAUZAT Philippe, <i>Mirrors</i> , 2010.....	123
DECRAUZAT Philippe, <i>Can I Crash Here</i> , 2005, Peinture au sol en adhésif, Dimensions variables	123
DECRAUZAT Philippe, <i>One Two Three Four Five</i> , 2005, Acrylique sur bois, 208 × 105 x 6 cm.....	123
DECRAUZAT Philippe, <i>Sans titre</i> , 2008, acrylique sur toile, 258 × 302 cm	124
DÜRER Albrecht, <i>Melencolia I</i> , 1514, gravure sur cuivre.....	23
ESCHER M.C., <i>Concave et convexe</i> , lithographie, 1955, 28 × 33,5 cm	287
FERRER Esther, <i>Poema de los números primos III</i> , 1997 Galería TRAYECTO, Vitoria (Espagne)	178
FERRER Esther, <i>Le poème des Nombres premiers</i>	179
FERRER Esther, <i>Nombres premiers hexagonaux</i> , 1986-88, feutre sur papier calque, hexagone 23,5 cm, côté à côté, 27 cm.....	179
FERRER Esther, <i>Nombres premiers</i> , 1980, papier, crayon, feutre, 100 × 70 cm.....	180
FERRER Esther, <i>Nombres premiers</i> , 1984	181
FERRER Esther, <i>Nombres premiers</i>	182
FIELD Michel, <i>Chaos Sauvage</i>	317
FILLIOU Robert, <i>Eins, Un, One, ...</i> , 1984	151
FLAVIN Dan, <i>The Nominal Three (to William of Ockham)</i> , 1963, succession de tubes fluorescents disposés en groupes de un, deux et trois néons verticaux	112

FLAVIN Dan, <i>Extention du Nominal Three (To William of Ockham)</i> , 1964, crayon de couleur sur papier noir, 20,3 X 46 cm, Fondation Judd à New York	113
FOMENKO Anatoly, <i>The remarkable numbers pi and e, I</i> , 1986, encre de Chine et crayon sur papier, 32 × 44 cm	162
FOMENKO Anatoly, <i>Anti-Dürer</i> , 1975, encre de Chine et crayon sur papier, 44 × 62 cm..	163
FRIZE Bernard, <i>Jacob, Isaac, Terah</i> , 2004, huile sur toile, triptyque.....	121
HERBIN Auguste, <i>Alphabet plastique</i> , 1946.....	217
HERBIN Auguste, <i>Soleil I</i> , 1947, huile sur toile, 100 × 81 cm, Musée Matisse, Le Cateau-Cambrésis.....	218
HERBIN Auguste, <i>Amour I</i> , 1948, huile sur toile, 92 × 73 cm, Musée Matisse, Le Cateau-Cambrésis.....	218
HERBIN Auguste, <i>Vendredi I</i> , 1951, huile sur toile, 96 × 129 cm, Centre Pompidou	299
HOKUSAI, <i>La Grande vague de Kanagawa</i> , 1830, estampe.....	299
HOTTER Gerhard, <i>Srivaq</i> , 2011, acrylique sur bois, 40 × 40 × 9 cm.....	94
HOTTER Gerhard, <i>EX</i> , 2015, acrylique sur bois, 30 × 30 × 9 cm	95
HOTTER Gerhard, <i>maybe (Gromringers Worte) PI</i> , 2009, acrylique sous verre d'acrylique sur alu dibond 80 × 80 cm	172
HOTTER Gerhard, <i>PI-RATEN</i> , 2009, acrylique sur toile, 160 × 160 × 4 cm	173
JOHNS Jasper, <i>Numbers</i> , 1960-1971, Série de 10 dessins	110
JUDD Donald, <i>Untitled</i> , 1974, Aluminium anodisé vert et acier inoxydable, 15,6 × 281,3 × 15,2 cm.....	58
JUDD Donald, <i>Untitled</i> , Aluminium, 1969, 20 × 647 × 21 cm.....	58
JUDD Donald, <i>Stack (Pile)</i> , 1972, Installation murale composée de 10 éléments superposés équidistants. Acier inoxydable, Plexiglas rouge, 470 × 102 × 79 cm, chaque élément : 23 x 102 × 79 cm.....	125
KISSELEVA Olga, <i>Arbre de Syracuse</i> , œuvre <i>in situ</i> au lycée de Pornic	92
KOSSUTH Joseph, <i>One and three chairs</i> , 1965.....	176
LEBLANC Philippe, <i>244 Perforations Gold</i> , 2010, bois, toile, acrylique, feuille d'or, éclairage LED, 150 × 150 × 7 cm	73
LEBLANC Philippe, <i>Mayanacci RYP</i> , 2018, bois, acier, acrylique, lumière LED, 81 × 81 cm	74

LEBLANC Philippe, <i>Babylonacci RYP</i> , 2019, bois, acier, acrylique, lumière noire, 81 × 81 × 7 cm	76
LEBLANC Philippe, <i>Fibocircle BYR</i> , 2015, bois, plexiglas, acrylique, Ø 85 cm	77
LEWITT Sol, <i>Serial project N°1 (ABCD)</i> , 1966, Laque sur aluminium, 51 × 414 × 414 cm, Museum of Modern Art (MOMA), New York	204
LEWITT Sol, <i>Variations of Incomplete Open Cubes</i> , 1974	27 et 209
LEWITT Sol, Quatrième de couverture de son ouvrage <i>Geometric Figures and Color</i> , 1979	210
LEYS Jos, <i>Une Vue sur la vallée des éléphants</i>	304
LOHSE Richard-Paul, <i>Komposition</i> , sérigraphie, 41 × 41cm	133
LOHSE Richard-Paul, <i>12 Progressions horizontales et 12 progressions verticales</i> , 1943-44, huile sur toile.....	134
LOHSE Richard-Paul, <i>Six rangées de couleurs verticales systématiques</i> , 1950-1972.....	230
LOHSE Richard-Paul, <i>Six bandes horizontales comportant chacune six groupes de couleurs formellement égaux</i> , 1950-1969.....	231
LONG Richard, <i>A Five day walk</i> , 1980	60
LONG Richard, <i>A line of 33 stones, a walk of 33 days</i> , 1998.....	61
LONG Richard, <i>Fibonacci Walk</i> , 2009.....	61 et 62
MERZ Mario, <i>Fibonacci Igloo</i> , 1972, Structure en métal avec tissu rembourré, fil de fer et chiffres au néon, 100 × 200 cm.....	46
MERZ Mario, <i>Crocodilus Fibonacci</i> , 1972, Installation avec de la lumière, Crocodile naturalisé, néons, transformateurs, Dim. Crocodile : 40 × 182 × 59 cm, longueur de l'installation : 22 m	48
MERZ Mario, <i>Fibonacci Napoli</i> , 1973, 10 photographies Noir et Blanc identiques d'une salle de réunion, salle qui se remplit de personnes au fil de la journée.....	50
MERZ Mario, <i>Details de Fibonacci Napoli</i> , 1973.....	51
MERZ Mario, <i>Il Giornale del resto del Carlino del Maggio</i> , 1976.....	52
MERZ Mario, <i>Il volo dei numeri</i> , 1984, néons sur le Mole Antonelliana à Turin.....	53
MERZ Mario, <i>suite de Fibonacci</i> , 1 à 987 en néons sur la cheminée d'une usine à Unna	54
MERZ Mario, <i>Suite de Fibonacci</i> , 1994, 1 à 55 en néons sur la cheminée de Turku Energia	55
MERZ Mario, <i>Tables de Fibonacci</i> , 1974-1976, Fusain, peinture acrylique, peinture métallisée et néon sur toile, 2667 x 3822 mm, Tate, Londres	56

MOHR Manfred, <i>Inversion Logique</i> , 1971	211
MEYNARD, Jean-Claude, <i>La Géométrie des Enigmes</i> , 2010, sérigraphie	298
MOLNAR Vera, <i>Quatre éléments distribués au hasard</i> , 1959 et <i>Losange sur fond noir</i> , 2011, Acrylique sur toile, 80 × 80 cm	150
MORELLET François, <i>Répartition aléatoire de 40000 carrés suivant les chiffres pairs et impairs d'un annuaire de téléphone</i> , 1960, huile sur toile, 100 × 100 cm	142 et 302
MORELLET François, <i>6 répartitions aléatoires de 4 carrés noirs et blancs d'après les chiffres pairs et impairs du nombre Pi</i> , 1958, huile sur bois, six fois 80 × 80 cm	157
MORELLET François, <i>pi piquant</i> , 1999, travail sur papier, 60 × 60 cm	160
MOSTA-HEIRT Côme, <i>De l'un à l'autre</i> , UN/DEUX/QUATRE/HUIT/SEIZE/TRENTE- DEUX/SOIXANTE-QUATRE/CENT VINGT-HUIT/DEUX CENT CINQUANTE SIX, 2018.....	136
MOLNAR Vera, <i>Quatre éléments distribués au hasard</i> , 1959.....	156
MOLNAR Vera, <i>Losange sur fond noir</i> , 2011, Acrylique sur toile, 80 × 80 cm	156
NEMOURS Aurélie, <i>Nombre et hasard</i> , (V68), 1991, peinture vinylique sur papier	153
NEMOURS Aurélie, Aurélie Nemours, <i>N + H 917</i> , 1992, huile sur toile, 120 × 120 cm ...	154
NEMOURS Aurélie, Aurélie Nemours, <i>Nombre et hasard</i> , (V 139), 1991, peinture vinylique sur papier, 36,9 × 33,6 cm	155
OPALKA Roman, <i>Détail</i> , /1- ∞, 1965-2011	191
RICHTER Gerhard, <i>Abstraktes Bild (Peinture abstraite)</i> , 1990, 724-4, huile sur toile, 92 × 126 cm.....	101
RICHTER Gerhard, <i>Motifs, III, 7/8</i> et <i>Motifs, IV, 7/16</i> , 2012	104
RICHTER Gerhard, <i>Motifs, VI, 21/64</i> et <i>Motifs, VI, 51/64</i> , 2012.....	105
RICHTER Gerhard, <i>Motifs, VII, 112/128</i> et <i>Motifs, VIII, 252/256</i> , 2012	106
RICHTER Gerhard, <i>Motifs, XII, 512/4096</i> et <i>Motifs, XII, 1536/4096</i> , 2012.....	107
RICHTER Gerhard, <i>180 couleurs</i> , 1971, laque sur toile, 200 × 200 cm	143
RICHTER Gerhard, <i>1024 Farben</i> , 1973, laque sur toile, 254 × 478 cm.	144
RICHTER Gerhard, <i>4900 Farben</i> , (4900 Couleurs), Version VIII	149
RICHTER Gerhard, <i>4900 Farben</i> , (4900 Couleurs), 1974, huile sur toile, 679 × 679 cm, Version XI	150 et 302

RICHTER Gerhard, <i>4900 Farben</i> , 2007 et Robert FILLIOU, <i>Eins, Un, One</i> , 1984, à l'exposition « Par hasard »	152
RILEY Bridget, <i>Fall</i> , 1963	120
SIMS John, <i>Seeing Pi</i> , 2006, 8' × 8', coton	165
SIMS John, <i>Pi in black and white</i> , 2008, 8' × 8', coton	166
SIZONENKO Ivan, <i>ADN de Fibonacci</i> , 2009, 120 × 120 cm, polyptique.....	78
STAMP Arlène, <i>Sliding Pi</i> , 1996, mosaïque murale dans le métro de Toronto	167 et 169
TOMBROFF Michel, <i>Deux</i> , 2018, réglettes de bois disposées sur un cube, 45 × 45 × 45 cm	174
TOMBROFF Michel, <i>pi</i> , 2018, deux panneaux de bois de 80 × 80 cm, peinture noire acrylique, cercle en balsa, réglettes en bois de hêtre.	175
TORONI Niele, <i>Empreintes de pinceau n°50 répétées à intervalles réguliers de 30 cm</i> , 1983, ensemble de dix tableaux, peinture glycérophtalique sur toile.	32
TORONI Niele, <i>Empreintes de pinceau n°50 répétées à intervalles réguliers de 30 cm</i> , 1983	139
VAN DOESBURG Théo, <i>Composition arithmétique</i> , 1930, huile sur toile.....	127
VAN EYCK Jan, <i>Les époux Arnolfini</i> , 1434, 82 × 60 cm, peinture sur bois.....	290
VASARELY Victor, <i>Orion MC</i> , 1964, acrylique sur toile, 84 × 80 cm.....	26 et 215
VASARELY Victor, <i>Majus</i> , 1975, éléments sérigraphiés en carton, 500 × 500 cm, Fondation Vasarely à Aix-en-Provence	214
VENET Bernar, <i>Related to : Morphological Operators with Discrete line Segments</i> , 2001, Acrylique sur toile, 183 × 243 cm	188
VIALLAT Claude, <i>Sans titre (n°40)</i> , 1968.....	137
VENET Bernar, <i>Related to : Morphological Operators with Discrete line Segments</i> , 2001, Acrylique sur toile, 183 × 243 cm	194

TRAVAUX PERSONNELS

DEMARET-PRANVILLE Denise, <i>Hommage à Fibonacci</i> , 2017, tryptique, digigraphie.....	79
DEMARET-PRANVILLE Denise, <i>Fibonacci 1, Fibonacci 2, Fibonacci 3</i> , 2018	80
DEMARET-PRANVILLE Denise, <i>Fibonacci</i> , 2019, digigraphie	84
DEMARET-PRANVILLE Denise, <i>Fibonacci</i> , 2020, digigraphie	87

DEMARET-PRANVILLE Denise, <i>Hommage à Fibonacci</i> , 2021, digigraphie	88
DEMARET-PRANVILLE Denise, <i>Hommage à Gerhard Richter, progression géométrique</i> , 2017, photomontage.....	109
DEMARET-PRANVILLE Denise, <i>Carré latin, sudoku coloré</i> , 2014, acrylique sur toile, 50 × 50 cm.....	233
DEMARET-PRANVILLE Denise, <i>Miroir fractal</i> , 2011, photomontage.....	283
DEMARET-PRANVILLE Denise, <i>Chaos urbain</i> , 2011, photomontage	284
DEMARET-PRANVILLE Denise, <i>Corps fractal</i> , 2009, technique mixte, 220 × 180 cm....	286
DEMARET-PRANVILLE Denise, <i>Solitude</i> , 2010, photomontage.....	287
DEMARET-PRANVILLE Denise, <i>Vertige</i> , 2011, photomontage	288
DEMARET-PRANVILLE Denise, <i>Sans titre</i> , 2011, encre sur papier, 50 × 65 cm	289
DEMARET-PRANVILLE Denise, <i>Arbre fractal</i> , 2011, photomontage.....	308
DEMARET-PRANVILLE Denise, <i>Présentation Arbre fractal</i> , 2011, photomontage.....	309
DEMARET-PRANVILLE Denise, <i>L'implosion de Beaubourg</i> , 2011, photomontage	318

CROQUIS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Arbre représentant le comportement de plusieurs suites de Syracuse	91
AYME Albert, croquis préparatoires pour <i>Paradigme</i>	221
AYME Albert, croquis représentant les 16 séquences de <i>Paradigme 2</i>	223
AYME Albert, matrice d'engendrement de <i>Paradigme</i>	224
AYME Albert, nouvelle matrice d'engendrement de <i>Paradigme</i> avec couleurs.....	224
AYME Albert, croquis préparatoires pour <i>Carré magique 3 × 3</i>	225
AYME Albert, grille 4 × 4 ayant servi à la construction de <i>Carré magique n°32</i>	227
Construction du triangle de Sierpinski	178
Croquis réalisé par l'IREM Paris Nord en 2014 pour l'étude de <i>Homage to the Square</i> de Josef Albers.....	98
Croquis illustrant la construction de la mosaïque murale d'Arlène Stamp à Toronto	167
Croquis illustrant les étapes de la construction de la baderne d'Apollonius.....	292
Croquis illustrant les cinq premières étapes de la construction du pentagone de Dürer	292
Croquis illustrant les sept premières étapes de la construction de la poussière de Cantor	292
Croquis illustrant deux étapes de la représentation de la courbe de Péano	292

BECKET Samuel, croquis illustrant les déplacements des acteurs dans la pièce <i>Quad</i>	36
DEMARET Denise, croquis pour l'étude du carré magique de Albrecht Dürer dans <i>Melancholia I</i>	19
DEMARET Denise, tableau : classement d'artistes selon le type de suites utilisées	38 à 42
DEMARET Denise, tableau : Artistes du Centre Pompidou dont les œuvres ont un lien avec les mathématiques	207 à 211
DEMARET Denise, Croquis sur Fiborythm de Charles Bézie	69
DEMARET Denise, Croquis explicitant <i>Mayanacci</i> de Philippe Leblanc	75
DEMARET Denise, Croquis expliquant la construction de <i>Fibonacci 1, Fibonacci 2,</i> <i>Fibonacci 3, Triptyque, 2018</i>	81 à 83
DEMARET Denise, croquis pour l'étude de <i>Homage to the Square</i> de Josef Albers	99
DEMARET Denise, croquis pour l'étude de <i>Composition arithmétique</i> de Théo Van Doesburg	129, 130 et 126
DEMARET Denise, tableau pour l'étude de <i>4900 Farben</i> de Gerhard Richer	147
DEMARET Denise, croquis expliquant la construction de 6 répartitions aléatoires de 4 carrés noirs et blancs d'après les chiffres pairs et impairs du nombre Pi de François Morellet	157
DEMARET Denise, croquis pour l'étude du carré dans <i>Anti-Dürer</i> de Fomenko	164
DEMARET Denise, carré magique (carré latin) utilisé par Albert Ayme	177
DEMARET Denise, croquis pour l'étude de la structure des bâtons d'André Cadere	197
DEMARET Denise, croquis pour préparer <i>Carré latin, 2014</i> , acrylique sur toile, 50 × 50 cm.	232
DEMARET Denise, <i>Chou romanesco</i> , photographie personnelle	303
DEMARET Denise, croquis qui illustre le théorème de Pythagore	305
DEMARET Denise, Construction d'un arbre de Pythagore après 4 étapes	306
DEMARET Denise, Construction d'un arbre de Pythagore après 12 étapes	306
DEMARET Denise, Arbre de Pythagore construit avec les cercles inscrits dans les carrés de la figure initiale	307
Ensemble de Julia	293
Ensemble de Mandelbrot	200 et 295
Eponge de Sierpinski	293
Flocon de Von Koch	200 et 293

GROSCOT Herbert, dessin obtenu avec excel, 2019	85
INGOLD Rolf, Illustration de l'érosion et de la dilatation dans la morphologie mathématique, Université de Fribourg, 2004	195
IREM Paris Nord, croquis réalisé en 2014 pour l'étude de <i>Homage to the square, Affectionate</i> de Josef Albers	94
LEWITT Sol, diagramme représentant les 122 éléments de « <i>Variations of Incomplete Open</i> <i>Cubes</i> ».....	206 et 207
LEWITT Sol, <i>Variations of Incomplete Open Cubes</i> , croquis préparatoire	208
LOHSE Richard-Paul, croquis pour <i>Six rangées de couleurs verticales systématiques</i> , 1950- 1972.....	230
La courbe de Koch	315
La courbe de Koch avec un intervalle aléatoire	315
La courbe de Koch avec une orientation aléatoire	315
Mandelbrot.....	295
RICHTER Gerhard, croquis pour <i>Motifs</i> , les 238 motifs répertoriés et sommaire.	103
RICHTER Gerhard, diagramme sur le carré magique et la suite des nombres dans le carré magique.	145
RICHTER Gerhard, grille des 25 couleurs pour <i>4900Farben</i>	146
SIMS John, croquis représentant l'enroulement des décimales de pi dans ses œuvres	166
Spirale d'Ulam	182
STAMP Arlène, croquis sur son œuvre <i>Sliding pi</i>	162
WÖRLER Jan, graphique pour l'étude de l'œuvre N° 1408 de Charles Bézic, 2009	66 et 67

ANNEXES

ANNEXE A

Manifeste de l'Art Concret

ART CONCRET

GROUPE ET REVUE FONDÉS EN 1930 A PARIS

PREMIÈRE ANNÉE - NUMÉRO D'INTRODUCTION - AVRIL MIL NEUF CENT TRENTE

BASE DE LA PEINTURE CONCRÈTE

Nous disons :

- 1° L'art est universel.
- 2° L'œuvre d'art doit être entièrement conçue et formée par l'esprit avant son exécution. Elle ne doit rien recevoir des données formelles de la nature, ni de la sensualité, ni de la sentimentalité.
Nous voulons exclure le lyrisme, le dramatisme, le symbolisme, etc.
- 3° Le tableau doit être entièrement construit avec des éléments purement plastiques, c'est-à-dire plans et couleurs. Un élément pictural n'a pas d'autre signification que « lui-même » en conséquence le tableau n'a pas d'autre signification que « lui-même ».
- 4° La construction du tableau, aussi bien que ses éléments, doit être simple et contrôlable visuellement.
- 5° La technique doit être mécanique c'est-à-dire exacte, anti-impressionniste.
- 6° Effort pour la clarté absolue.

Carlsund, Doesbourg, Hélon, Tutundjian, Wantz.

ANNEXE B

Entretien avec Charles Bézie le 12 mai 2016

D. D.-P. : Vous dites que vous utilisez les lignes droites dans votre travail, pourquoi ce choix ? Votre formation initiale est une formation artistique, comment en êtes-vous venu aux objets mathématiques que sont les droites ou les nombres ?

C.B : Au début, je faisais un travail classique plutôt figuratif. Ce sont des œuvres que j'appelle mes « œuvres de jeunesse » et que je ne montre pas. Un jour, en 1967, j'ai fait une aquarelle où apparaissaient des lignes tracées à main levée. Pour moi il y avait une part d'inconscient dans ce travail mais j'ai tout de suite senti que c'était ce qui m'intéressait. Progressivement, et sans le vouloir, je suis passé des traits à main levée aux traits à la règle pour devenir plus radical, le trait est alors fait au tire-ligne, le travail devient programmé comme dans les « Suites indiennes », que j'ai appelées ainsi en référence à un voyage en Indes que j'ai fait à ce moment-là.

D. D.-P. : Dans les Suites Indiennes pourquoi vos lignes sont-elles coupées ?

C. B. : Je ne sais pas, c'est une sorte d'intuition qui se développe au fil du travail, avec l'idée du croisement, des diagonales à 45°. J'obtiens un signe que j'appelle Quadrille (comme quadrillage).

D. D.-P. : Comment êtes-vous passé de la ligne à la bande ?

C. B. : Petit à petit, je suis passé du tire-ligne au travail avec des bandes de scotch et des peintures acryliques épaisses étendues au couteau. Mes lignes se sont donc élargies pour devenir des bandes. C'est venu progressivement.

D. D.-P. : Pourquoi avoir abandonné les obliques ?

C. B. : Arrive une période où l'on sent qu'on tourne en rond. J'ai parlé avec Aurélie Nemours qui détestait les obliques, elle m'a écrit un très beau texte sur ce sujet et cela m'a certainement influencé. Je suis alors passé aux horizontales et aux verticales à partir de 1995.

D. D.-P. : Que signifie, pour vous, travailler sur les rythmes ? Est-ce avec les formes ou les nombres ?

C. B. : C'est saccadé, c'est une suite de formes qui existent l'une par rapport à l'autre, qui sont par exemple la représentation d'un mouvement, comme dans les « Fiborythm ». J'utilise des progressions de nombres pour créer ces rythmes.

Dans « Gradations », des carrés, tous de même surface, sont divisés par des traits, soit à partir de la progression des nombres entiers naturels, soit des nombres pairs ou des nombres impairs, cela produit des rythmes irréguliers.

Dans « Cadences », chaque bande verticale est découpée en carrés de même surface, le nombre de ces carrés variant pour chaque bande, par exemple la bande de gauche est découpée en deux carrés identiques, la deuxième en trois, la suivante en quatre, etc ... Le nombre de carrés d'une bande détermine la largeur de cette bande. Cela donne à l'ensemble des rythmes réguliers.

Le rythme est donné aussi par ce que j'appelle l'animation du fond. Par exemple, sur chaque bande verticale d'un tableau, le fond noir est traité différemment avec des couches de peinture plus ou moins épaisses, plus ou moins brillantes.

D. D.-P. : Vous avez souvent utilisé des carrés, pourquoi ?

C. B. : En pensant aux pionniers, c'est une sorte d'hommage à Malévitch. C'est la simplicité de la forme qui m'intéresse.

D. D.-P. : En 2003 vous introduisez la suite de Fibonacci, qu'apporte-t-elle à votre travail ? Y-a-t-il d'autres suites mathématiques qui interviennent dans vos œuvres ?

C. B. : Après avoir travaillé sur « Gradations » et sur « Cadences » j'ai découvert la suite de Fibonacci dans le livre de Marc-Alain Ouaknin, *Mystères des chiffres* et cela m'a permis de poursuivre mes recherches sur les nombres. Et puis, cette suite est fascinante puisqu'elle est liée au Nombre d'Or, le rapport entre un terme et le suivant se rapproche du Nombre d'Or. Dans un premier temps j'ai gardé l'animation du fond puis je l'ai supprimée pour avoir un

fond plus minimal pour que les formes soient libres dans l'espace. Il y a du mouvement dans les « Fiborythm », des courbes apparaissent alors qu'il n'y a que des droites.

J'ai parfois utilisé des suites arithmétiques, comme dans « Gradations », et cela m'a amené à découvrir et à m'intéresser à la suite de Fibonacci.

Il y a une troisième période où Fibonacci est encore présent, c'est dans la série que j'appelle « Ortholude » où les verticales sont programmées suivant le début de la suite des chiffres en progression : 1, 1, 2, 3, 5, 8.

D. D.-P. : Vous dites également que vous voulez continuer à travailler à partir des chiffres, en quoi donnent-ils du sens à votre travail ?

C. B. : Cela donne un sens à mon travail et c'est surtout parce que je préfère éviter de faire des formes « gratuites ». Cela s'inscrit dans le cadre de l'Art Construit pour lequel on peut constater un intérêt général qui se développe, surtout dans les autres pays européens comme en Allemagne.

Je pense que l'Art Construit aura une réelle postérité, car à partir des pionniers – Mondrian, Malevitch – et durant tout un siècle ce mouvement a précédé et accompagné « l'ère numérique » qui est devenue notre quotidien.

ANNEXE C

Artistes du Centre Pompidou dont les œuvres ont un lien avec les mathématiques

	Artistes	Œuvres Présentées dans le musée		Catégorie artistique ou mouvement	Éléments mathématiques utilisés	Domaines mathématiques				
		Collections modernes	Collections contemporaines			Géométrie	Arithmétique	Algèbre	Analyse	Statistiques et probabilités
1	AGAM		X	Art optique illusions optiques	formes géométriques	X				
2	ALBERS Josef		X		formes géométriques (carré)	X				
3	AMER Ghada				formes géométriques	X				
4	ANDRE Carl			Minimalisme	formes géométriques	X				
5	BAERTLING Olle				formes géométriques	X				
6	BALLA Giacomo				formes géométriques	X				
7	BANNARD Walter Darby				formes géométriques	X				
8	BARRE Martin		X		formes géométriques	X				
9	BAUER Rudolf				formes géométriques	X				
10	BAUMEISTER Willi				formes géométriques	X				
11	BAYER Herbert				formes géométriques	X				
12	BELL Larry				formes géométriques	X				
13	BELSON Jordan				formes géométriques	X				
14	BILL Max			Sculptures	formes géométriques (bande de Moëbius)	X				
15	BOCHNER Mel				Listes de nombres, analyse combinatoire		X			X
16	BRANDT Marianne				formes géométriques	X				
17	BRUCE Patrick Henri				formes géométriques	X				
18	BUREN Daniel		X	Art conceptuel	formes géométriques	X				
19	BURY Pol				formes géométriques	X				
20	CALDER Alexander	X			formes géométriques	X				
21	CANE Louis			Arte povera	formes géométriques	X				
22	CARLSUND Otto				formes géométriques	X				
23	CASTELLANI Enrico		X		symétries	X				
24	CHAPOVAL Youla				formes géométriques	X				
25	CHARDON Nicolas					X				
26	CLAISSE Geneviève					X				
27	CRUZ-DIEZ Carlos	X		Art optique illusions optiques	formes géométriques	X				
28	DARBOVEN Hanne				graphiques					
29	DAURA Pierre			Groupe Cercle et Carré	formes géométriques	X				
30	DE ROSSI Pucci			Sculptures	formes géométriques	X				
31	DELAUNAY Robert	X		Cubisme	formes géométriques	X				
32	DELAUNAY Sonia	X		Cubisme	formes géométriques	X				
33	DENES Agnès					X				
34	DEVADE Marc				formes géométriques	X				
35	DEWASNE Jean	X			formes géométriques	X				
36	DIBBETS Jan			Art conceptuel		X				
37	DIEUZAIDE Jean					X				
38	DOMELA César				formes géométriques	X				
39	DONOVAN Tara				formes géométriques	X				X
40	DUMITRESCO Natalia				formes géométriques	X				

	Artistes	Œuvres Présentées dans le musée		Catégorie artistique ou mouvement	Éléments mathématiques utilisés	Domaines mathématiques				
		Collections modernes	Collections contemporaines			Géométrie	Arithmétique	Algèbre	Analyse	Statistiques et probabilités
41	EGGELING Viking				formes géométriques	X				
42	EHRARDT Alfred				formes géométriques	X				
43	EL MILICK Maurice					X				
44	ELEMENTO Nathalie			sculptures géométriques	formes géométriques	X				
45	ELIASSON Olafur					X				
46	EMMERICH David-Georges			sculptures géométriques	géométrie dans l'espace (pavages, polyèdres)	X				
47	ERNST Max	X				X				
48	FACHARD Robert					X				
49	FEDERLE Helmut					X				
50	FLEURY Sylvie					X				
51	FOLMER Georges					X				
52	FROMANGER Gérard			Figuration narrative	Symétries	X				
53	FRYDMAN Monique					X				
54	GABO Naum			sculptures géométriques	Volumes (surfaces réglées)	X				
55	GIBSON Ralph					X				
56	GILLARD Jean-Pierre					X				
57	GLASER Milton					X				
58	GLEIZES Albert	X		Cubisme		X				
59	GOLDSTEIN Zvi					X				
60	GORIN Jean			Groupe Cercle et Carré		X				
61	GRAESER Camille					X				
62	GRAND Toni					X				
63	GRIS Juan	X		Cubisme		X				
64	GROSSE Katharina		X			X				
65	GUYTON Wade		X			X				
66	HALL Nigel					X				
67	HANAU Jean					X				
68	HEIN Jeppe			sculptures géométriques	Séries de cubes	X				X
69	HELION Jean	X				X				
70	HERBIN Auguste	X				X				
71	HONEGGER Gottfried					X				
72	HORN Roni					X				
73	HUCLEUX Jean-Olivier					X				
74	HUSZAR Vilmos					X				
75	HYLANDER Eimar					X				
76	IOMMI Enio					X				
77	JACOBSEN Robert Julius	X				X				
78	JANCO Marcel	X				X				
79	JOHNS Jasper	X			Nombres		X			
80	JUDD Donald			Minimalisme, sculptures	géométrie dans l'espace	X				
81	KALINOWSKI Horst-Egon					X				
82	KANDINSKI Vassily	X		abstraction géométrique, groupe Cercle et Carré		X				
83	KAPOOR Anish					X				
84	KELLY Ellsworth		X			X				
85	KLEE Paul	X				X				
86	KNIFER Julije					X				
87	KOBRO Katarzyna					X				
88	KOLAROVA Bela					X				
89	KOLIBAL Stanislas					X				
90	KOSICE Gyulia					X				

	Artistes	Œuvres Présentées dans le musée		Catégorie artistique ou mouvement	Éléments mathématiques utilisés	Domaines mathématiques				
		Collections modernes	Collections contemporaines			Géométrie	Arithmétique	Algèbre	Analyse	Statistiques et probabilités
91	KOWALSKI Piotr	X				X				
92	KUPKA	X		abstraction géométrique		X				
93	KWASNIEWSKA Barbara					X				
94	LALOY Yves					X				
95	LAMIEL Laura					X				
96	LARDERA Berto	X				X				
97	LAVIER Bertrand		X			X				
98	LE PARC Julio	X				X				
99	LE RICOLAIS Robert					X				
100	LEBLON Guillaume				Géométrie dans l'espace	X				
101	LEMONNIER André		X			X				
102	LENCLOS Jean-Philippe		X			X				
103	LEPPIEN Jean					X				
104	LEWITT Sol			Art conceptuel	Suites logiques de volumes géométriques spirale logarithmique, nombre d'or	X			X	
105	LEGER Fernand	X				X				
106	LICHTENSTEIN Roy					X				
107	LISSITZKY El					X				
108	LOHSE Richard-Paul					X				
109	MALEVITCH Kasimir	X		abstraction géométrique		X				
110	MANGOLD Robert					X				
111	MARCOUSSIS Louis	X				X				
112	MARDEN Brice		X			X				
113	MCCALL Anthony					X				
114	MERZ Mario		X		Suite de Fibonacci				X	
115	MOHOLY-NAGY Laszlo	X			formes géométriques (carrés, rectangles, cercles, droites)	X				
116	MOHR Manfred					X				
117	MOLNAR Vera				formes géométriques (carrés, rectangles, cercles, droites), expérience aléatoire	X				X
118	MONDRIAN Piet	X		abstraction géométrique, groupe Cercle et Carré		X				
119	MORELLET François		X	Art conceptuel	formes géométriques (carrés, rectangles,	X				X
120	MOSSET Olivier					X				
121	MOUCHA Miloslav					X				
122	NEBEL Otto					X				
123	NEMOURS Aurélie	X			formes géométriques (carrés, lignes), hasard	X				
124	NEWMAN Barnett	X				X				
125	NICHOLSON Ben					X				
126	NOLAND Kenneth					X				
127	NOUVEAU Henri					X				
128	OPALKA Roman		X	Art conceptuel	Suites de nombres		X			X
129	PAIK Nam June			Art conceptuel		X				
130	PEVNER Antoine	X		sculptures géométriques, groupe Cercle et Carré	Volumes (surfaces réglées)	X				

	Artistes	Œuvres Présentées dans le musée		Catégorie artistique ou mouvement	Eléments mathématiques utilisés	Domaines mathématiques				
		Collections modernes	Collections contemporaines			Géométrie	Arithmétique	Algèbre	Analyse	Statistiques et probabilités
131	PERRODIN François					X				
132	PERI László					X				
133	PICABIA Francis	X				X				
134	PICASSO Pablo	X		Cubisme		X				
135	PINCEMIN Jean-Pierre		X			X				
136	PRATSEVALL Germaine					X				
137	PREVOST Clovis BURY Pol					X				
138	RAY Man	X		sculptures géométriques		X				
139	REICHEL Hans					X				
140	REUTERSVARD Oskar					X				
141	RIBEMONT-DESSAIGNES Georges					X				
142	RICHTER Gerhart		X		formes géométriques (séries de carrés de couleurs, répartis de façon aléatoire)	X				X
143	RIETI Fabio					X				
144	RILEY Bridget		X	Art optique illusions optiques		X				
145	RISTORI François				Pavages réguliers du plan	X				
146	RODCHENKO Alexandre					X				
147	ROSS Charles					X				
148	ROTHKO Marc	X				X				
149	ROUSSE Georges				anamorphose	X				
150	RUTAULT Claude					X				
151	RUTHENBECK Reiner					X				
152	SANDBACK Fred					X				
153	SERRA Richard			Minimalisme		X				
154	SERVRANCKX Victor					X				
155	SEVERINI Gino					X				
156	SHAPIRO Joël					X				
157	SMITHSON Robert					X				
158	SOBRINO Francisco					X				
159	SOTO Jesus Rafael	X				X				
160	SOUSA-CARDOSO (de) Amadeo					X				
161	SPALLETTI Ettore					X				
162	SPRINGER Ferdinand					X				
163	STÄMPFLI Peter					X				
164	STEIN Joël					X				
165	STEINER Michael					X				
166	STELLA Frank					X				
167	STRATMANN Veit				Géométrie dans l'espace	X				
168	TAEUBER-ARP Sophie	X		Groupe Cercle et Carré		X				
169	TIHANYI Lajos					X				
170	TINGUELY Jean	X				X				

	Artistes	Œuvres Présentées dans le musée		Catégorie artistique ou mouvement	Éléments mathématiques utilisés	Domaines mathématiques				
		Collections modernes	Collections contemporaines			Géométrie	Arithmétique	Algèbre	Analyse	Statistiques et probabilités
171	TOMASELLO Luis					X				
172	TORONI Niele		X		Pavages réguliers du plan	X				
173	TORRES-GARCIA Joaquin			Groupe Cercle et Carré		X				
174	TUTUNDJIAN Léon	X				X				
175	UECKER Günther					X				
176	VALENSI Henry				Formes géométriques	X				
177	VAN DOESBURG Theo			Art concret		X				
178	VAN REES Otto					X				
179	VAN VELDE Geer					X				
180	VANTONGERLOO Georges			Groupe Cercle et Carré		X				
181	VARINI Felice			Art optique	anamorphose	X				
182	VASARELY Victor	X		Art optique	Formes géométriques, perspective	X				
183	VENET Bernar			Art conceptuel	Etude de fonction et géométrie dans l'espace	X			X	
184	VERJUX Michel					X				
185	VIALLAT Claude		X		Pavages réguliers du plan	X				
186	VIEIRA DA SILVA Maria Elena					X				
187	VORDEMBERGE-GILDEWART Friedrich					X				
188	WEGEHAUPT Herbert					X				
189	YVARAL (Jean-Pierre VASARELY dit)	X		Art optique	Forme géométrique, perspective	X				

ANNEXE D

Extrait du mémoire de Master 2 de Denise Demaret soutenu en juin 2011

UNIVERSITE PARIS 1 PANTHEON-SORBONNE

UFR 04 – Arts plastiques et sciences de l’art

Mémoire de Master 2

Art de l’image et du vivant : Chaos et fractalité

Séminaire de Monsieur Michel Sicard

Mai 2011

SOMMAIRE

Troisième partie : Chaos et fractalité	282
1. La symétrie brisée et l’avènement de la fractalité	282
2. Autosimilarité et mise en abîme	285
3. La théorie des fractales	291
4. L’art fractal	296
5. Le hasard mis en scène	300
6. Le paysage fractal	303
7. Le temps fractal	309
8. Postmodernisme et fractalité	311
9. Le chaos organisé	312
Conclusion	319

Troisième partie : Chaos et fractalité

1. *La symétrie brisée et l'avènement de la fractalité.*

Après avoir beaucoup travaillé avec la symétrie et la régularité des pavages, j'ai commencé à me sentir attirée par des images plus fragmentées, moins régulières. L'ordre a ses limites et j'ai éprouvé le besoin d'explorer de nouvelles formes d'expressions, de briser la symétrie, de morceler mes images. Susan Condé parle de « briser la symétrie pour engendrer la création par la force de l'irrégularité »¹⁰⁰. J'ai travaillé mes photos en leur infligeant des traitements plus violents, avec une plus grande part de hasard. C'est la théorie des fractales qui m'a orientée vers cette démarche. J'ai choisi des photographies qui m'inspiraient pour imaginer des univers fractalisés. Lors d'un déplacement en août 2010, j'ai fait de nombreuses photos du Miroir d'eau sur les quais de Bordeaux. Lorsque la lumière du soleil est vive, la surface de l'eau opère comme un véritable miroir et l'on voit des adultes et des enfants évoluer au-dessus de leur reflet presque parfait dans un bal surréaliste. Cette image spéculaire m'a beaucoup impressionnée et j'ai sélectionné l'une de ces photos pour réaliser un photomontage. J'ai d'abord coloré trois personnages qui évoluent sur cette surface à l'aide des trois couleurs primaires, jaune, rouge et bleu, puis, à l'aide d'un logiciel adapté, j'ai appliqué des transformations fractales à ma photographie jusqu'à ce que j'obtienne un résultat qui me convienne (fig. 50). Dans l'image obtenue, les personnages se reproduisent indéfiniment dans une ronde incessante. Certaines parties de l'image ont une composante anamorphique car les personnages ont subi des torsions et on a l'impression qu'il faudrait disposer d'un miroir cylindrique pour retrouver l'image initiale.

En octobre 2010, en voyage à Abu Dhabi, j'ai été impressionnée par la prolifération anarchique des immeubles. C'est une forêt moderne qui s'élève dans le désert, découpant sur le ciel des contours irréguliers. J'ai réalisé une série de photographies d'immeubles à partir desquelles j'ai réalisé un nouveau photomontage fractal *Chaos urbain* (fig. 51). Les nouveaux paysages urbains, avec leurs gratte-ciel démesurés, ont une structure fractale et, en réalisant ce montage, j'ai voulu accentuer la fractalité d'un tel site. Susan Condé ressent cette nouvelle caractéristique des métropoles du XX^{ème} siècle lorsqu'elle dit : « Avec le temps, les images de Paris et New York ont envahi ma conscience, induisant une vision du paysage contemporain

¹⁰⁰ Susan Condé, *La Fractalité dans l'art contemporain*, Paris, La Différence, 2001, p.156.

comme paysage de fractalité.»¹⁰¹. Dans *Chaos urbain*, il se dégage une impression de chaos, d'excès, la taille démesurée et la construction anarchique des nouveaux immeubles étant démultipliées par la répétition, la prolifération des mêmes images qui se multiplient.

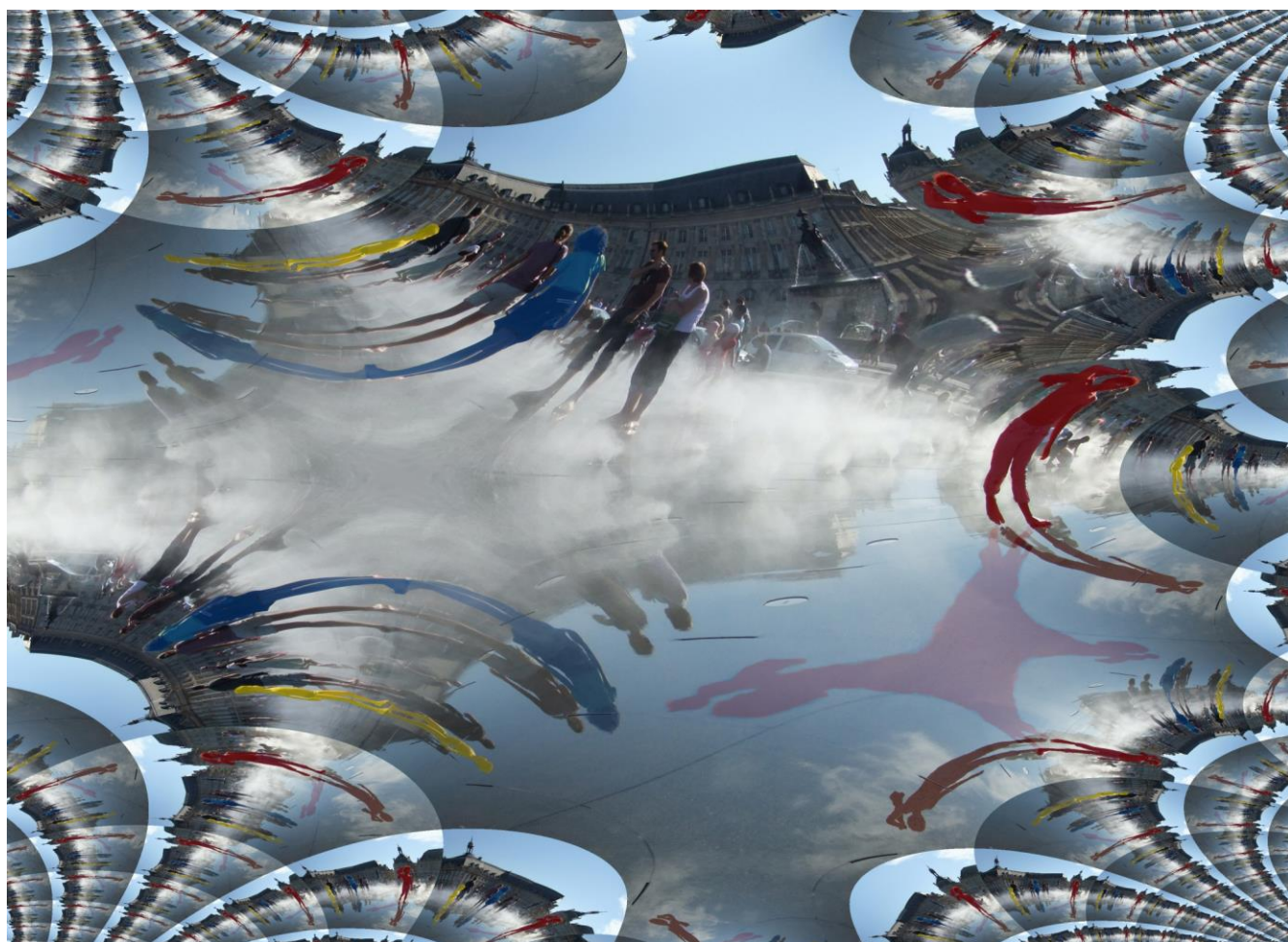


Fig. 50 : Denise Demaret, *Miroir fractal*, photomontage, 2011, 80 × 60 cm.

¹⁰¹ *Ibid.*, p. 20.

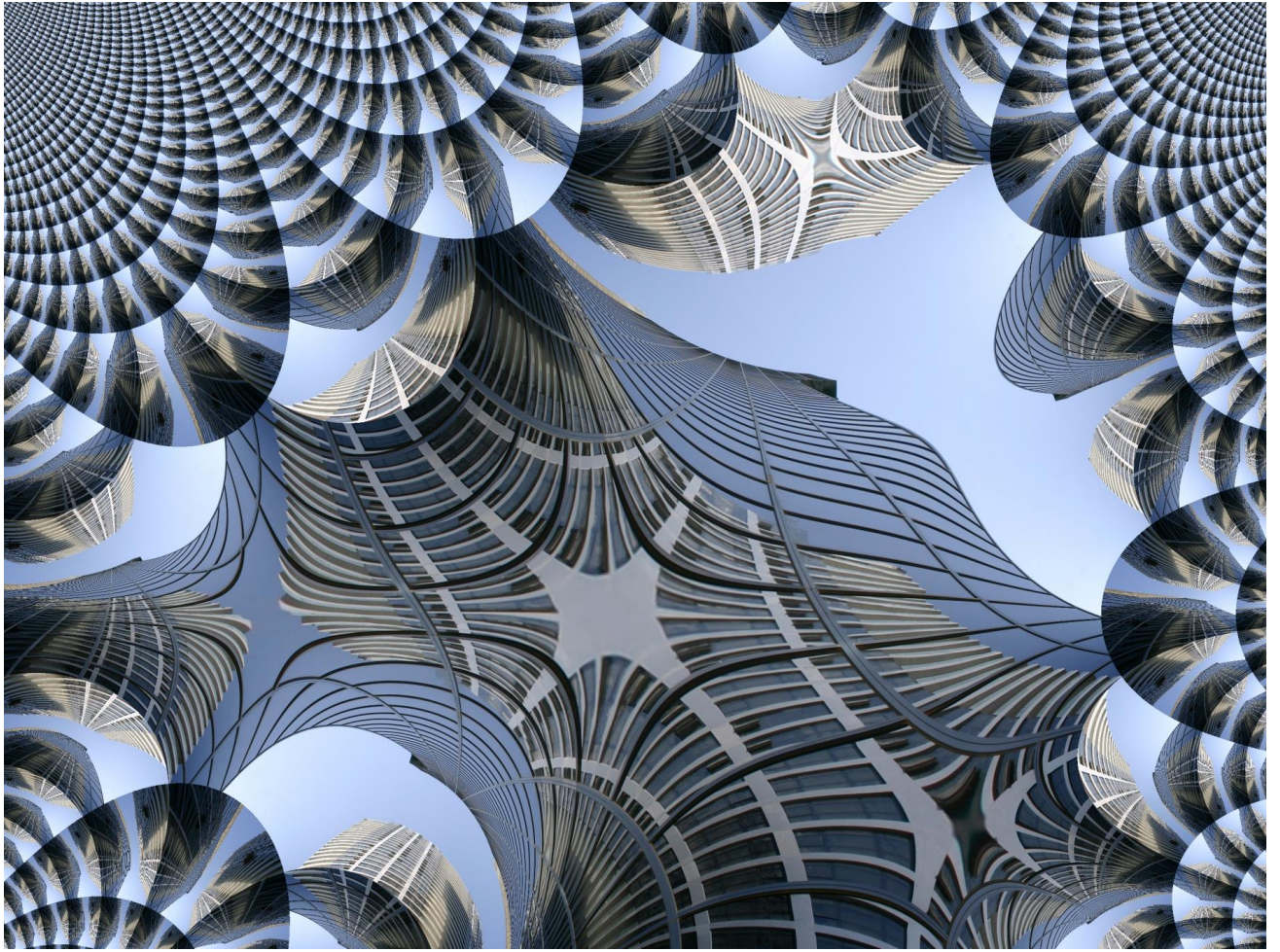


Fig. 51 : Denise Demaret, *Chaos urbain*, 2011, photomontage, 80 × 60 cm.

2. Autosimilarité et mise en abyme

L'autosimilarité est une des caractéristiques principales des fractales. Dans un travail réalisé en 2009, j'ai allié graphisme et répétitions. A partir d'un dessin fait lors d'une séance de modèle vivant (fig. 52), j'ai fait un dessin très minimal de cette silhouette (fig. 53), puis je l'ai répété, en faisant des translations et des rotations afin d'obtenir une composition graphique aux courbes très épurées où l'on peut reconnaître des corps mais aussi imaginer par exemple des vagues (fig. 54). J'ai ensuite repris ces motifs et je les ai multipliés afin d'en recouvrir les murs d'une pièce pour reconstituer la même silhouette en grand format. J'ai présenté ce travail en décembre 2009 dans la salle 61 du centre Saint Charles (fig. 55). Cette réalisation peut s'apparenter à une forme fractale dans la mesure où la forme globale est composée de formes plus petites qui lui sont similaires. Il y a répétition et auto-similarité par homothétie.



fig. 52

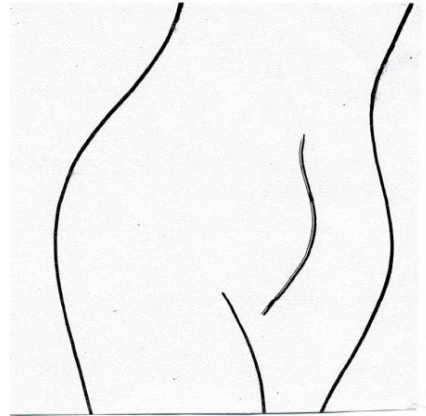


fig. 53



fig. 54 : Denise Demaret, 2009, technique mixte.



fig. 55 : Denise Demaret, *Corps fractal*, 2009, technique mixte, 220 × 180 cm.

Je me suis ensuite intéressée à la mise en abyme qui est un autre aspect de l'autosimilarité. J'ai d'abord utilisé un autoportrait photographique où je suis assise sur une chaise dans une pièce vide. Mon personnage a été teinté de rouge, tout en gardant une certaine transparence. J'ai d'abord réalisé une mise en abyme « classique », l'image se reproduisant indéfiniment à l'intérieur d'elle-même (fig. 56). Dans un second temps, à l'aide d'un logiciel, j'ai tenté de nombreux essais pour « fractaliser » cette image. L'image finale que j'ai conservée (fig. 58) a un côté angoissant, la mise en abyme avait déjà un caractère inquiétant, mais les torsions dues à la fractalité provoquent une sorte de vertige où le gouffre vers lequel je semble m'enfoncer est en fait un infini insondable. Si j'ai commencé par utiliser un autoportrait pour passer à la fractalité, c'est peut-être pour réaliser une sorte de rite initiatique où se confondent ma personnalité et ma pratique artistique. Avant d'appliquer cette nouvelle recherche à d'autres sujets qui m'entourent, j'ai voulu tester cette descente vertigineuse dans l'inconnu, c'est l'arrivée d'Alice dans l'univers étrange du Pays des Merveilles. J'ai eu aussi l'impression d'avoir un peu rejoint l'univers fantastique d'Escher car la mise en abyme de ma photographie présente des ressemblances avec la gravure d'Escher où l'on voit des escaliers qui montent et descendent dans toutes les directions (fig. 57). C'est la réalité et la fiction qui se rejoignent car la gravure d'Escher n'est que le produit de l'imagination de l'artiste, alors que dans mon montage le personnage vivant, bien réel, évolue dans un univers impossible.

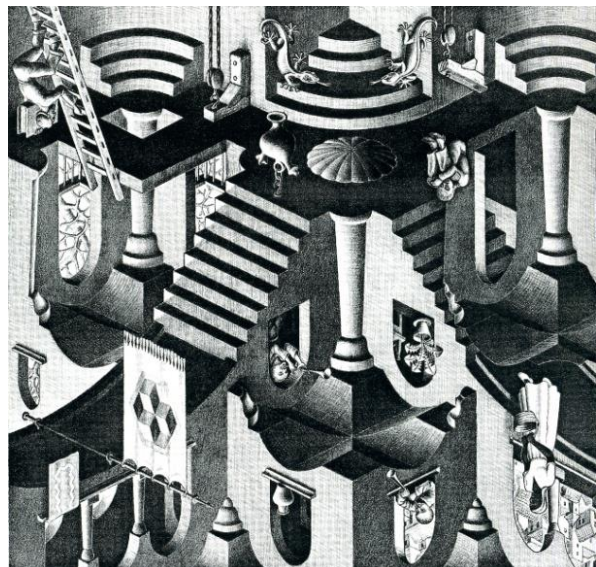
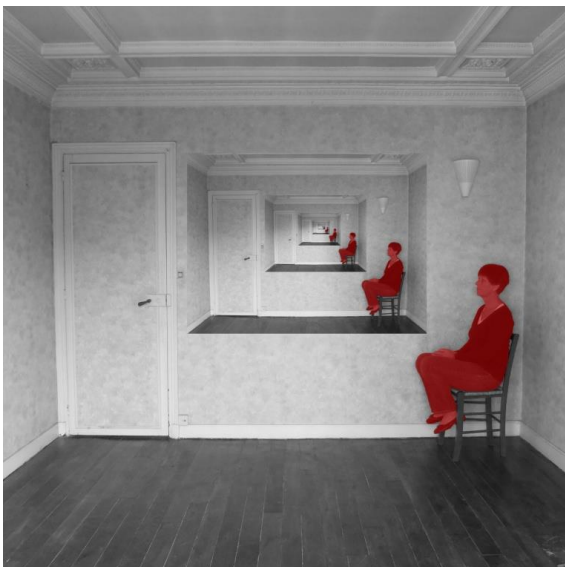


Fig. 56 : Denise Demaret, *Solitude*, 2010, photomontage.

Fig. 57 : M.C. Escher, *Concave et convexe*, 1955, lithographie, 28 × 33,5 cm.

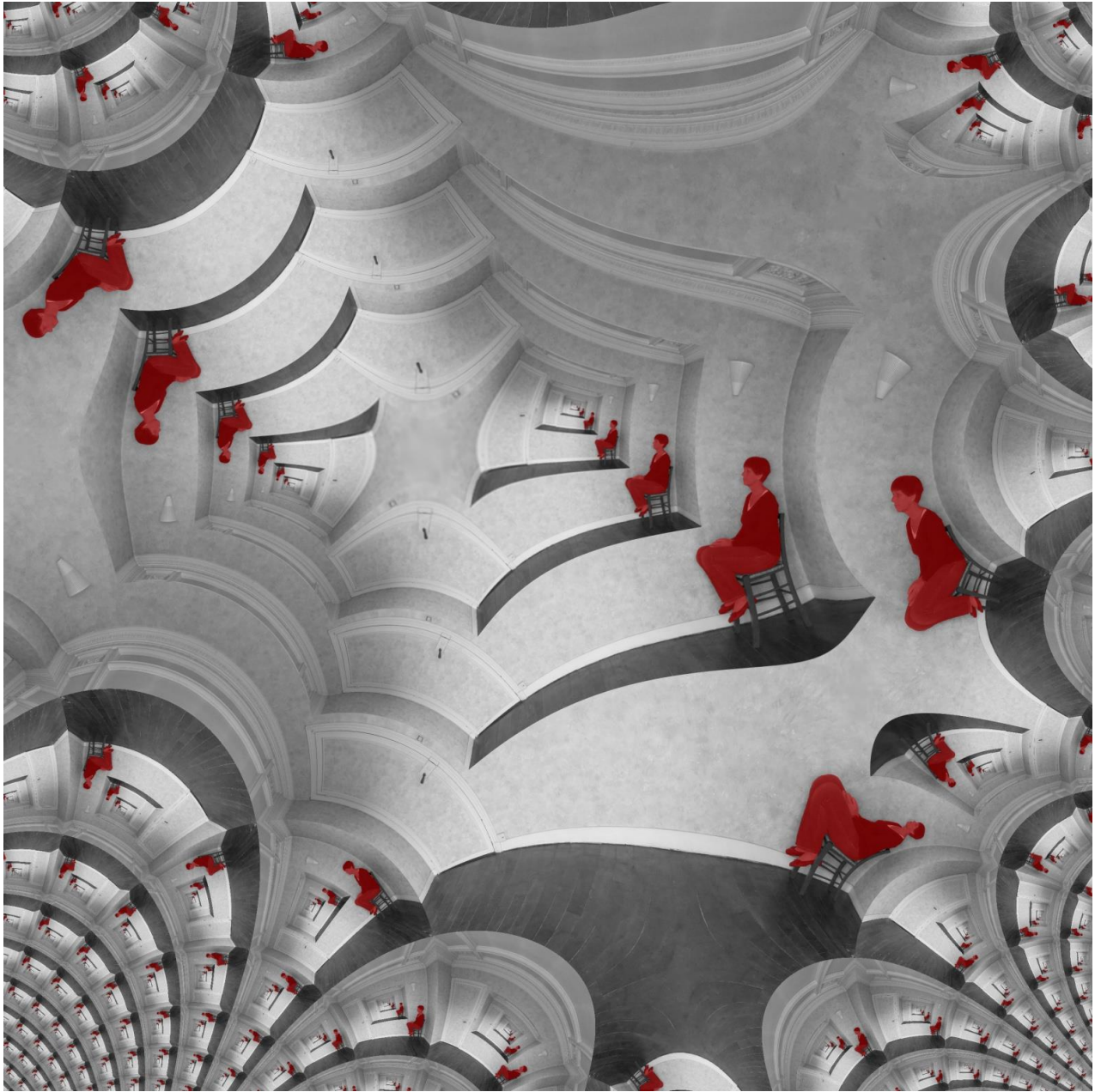


Fig. 58 : Denise Demaret, *Vertige*, 2011, photomontage, 80 × 80 cm.

Après avoir réalisé ces montages photos, je me suis mise à dessiner des sortes de modules répétitifs, qui se reproduisent quasiment à l'identique et qui semblent nous entraîner vers un abîme insondable (fig. 59).



Fig. 59 : Denise Demaret, *Sans titre*, 2011, encre sur papier, 50 × 65 cm.

La mise en abyme a été utilisée de nombreuses fois en art. Elle peut se présenter sous diverses formes, soit l'image principale est reproduite à l'identique à l'intérieur d'elle-même comme on peut le voir dans certaines publicités connues comme *La vache qui rit*, ou le cacao *Droste*. Sinon il peut aussi simplement s'agir d'un reflet de la scène principale dans un miroir comme, par exemple, dans le tableau de Jan Van Eyck, *Les Époux Arnolfini* qui est l'un des premiers exemples de mise en abyme (fig. 60 et 61).



Fig. 60 et 61 : Jan Van Eyck, *Les époux Arnolfini*, 1434, 82 × 60 cm, peinture sur bois.

La mise en abyme a été très utilisée en littérature. On peut citer *La Bibliothèque de Babel* de Jorge Luis Borges, où il décrit une bibliothèque interminable constituée de salles hexagonales au nombre indéfini. La mise en abyme intervient lorsque J.L. Borges parle de l'existence probable d'un livre qui serait le résumé parfait de tous les autres. Si ce livre existe, parle-t-il aussi du livre de J.L. Borges ? Ce procédé littéraire consiste à insérer dans le texte un élément qui le décrit. C'est la problématique de la réflexivité et de l'autoréférence. Tout élément de l'œuvre a une relation de similitude avec l'œuvre entière. La mise en abyme a une structure fractale. On peut donc comparer la mise en abyme, qu'elle soit plastique ou littéraire, aux fractales. En effet la **mise en abyme** est un procédé qui consiste à représenter une œuvre dans une œuvre du même type et on retrouve ainsi le principe d'autosimilarité, qui est sous-jacent dans les fractales ou bien le principe de récursivité en mathématiques, de l'œuvre considérée. Une question se pose, toute mise en abyme a-t-elle une structure fractale, et toute fractale est-elle une mise en abyme ? Pour répondre à cette question il faut étudier le degré d'autosimilarité de la fractale considérée.

3. La théorie des fractales

Dans le travail que je viens de décrire, la notion de fractale est très présente, le lien avec les mathématiques n'est pas rompu puisque la théorie des fractales est avant tout une notion mathématique. La théorie des fractales est certainement la théorie mathématique qui a le plus de liens avec le monde artistique. Avec l'arrivée des fractales, on aboutit à une redéfinition des liens entre ces deux disciplines. On assiste à l'instauration d'une relation plus fusionnelle, ne serait-ce que par le vocabulaire, puisque l'on parle maintenant d'Art fractal, d'œuvre fractale. La fractalité devient une nouvelle vision du monde, une compréhension différente des phénomènes qui nous entourent, la place de l'Homme étant reconsidérée sous un autre angle. L'artiste qui cherche à intégrer cette fractalité à ses œuvres a pour objectif de traduire cette nouvelle vision fractale du monde. Le rapport du détail au tout, la notion d'échelle, sont de nouvelles données dans l'appréhension de l'univers. Susan Condé dit : « pour l'artiste la fractalité est une démarche »¹⁰². Les réseaux qui se multiplient autour de nous, comme internet ou les autoroutes peuvent faire penser à des structures fractales.

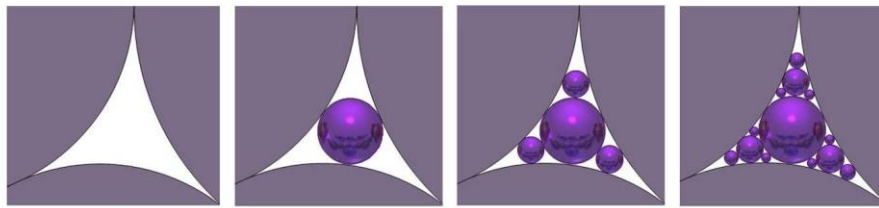
Les objets fractals sont des objets mathématiques, imaginés par le grand mathématicien Benoit Mandelbrot (1924 - 2010). Il les introduit dans son ouvrage *Les Objets Fractals* en disant :

Des objets naturels très divers, tels la Terre, le Ciel et l'Océan, ont en commun d'être de forme extrêmement irrégulière ou interrompue. Pour les étudier j'ai conçu une nouvelle géométrie de la nature. La notion qui lui sert de fil conducteur sera désignée par l'un des deux néologismes synonymes, "objet fractal" et "fractale", termes que je viens de former, à partir de l'adjectif latin fractus, qui signifie "irrégulier ou brisé" »¹⁰³.

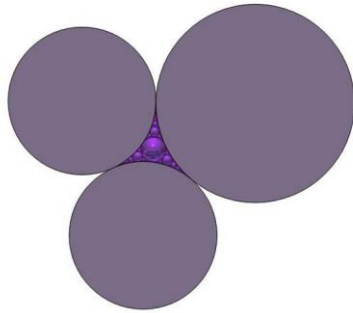
La notion de fractale avait déjà été pressentie par des scientifiques ou des artistes depuis longtemps. Trois siècles avant Jésus-Christ, Apollonius de Perge, qui était un disciple d'Archimède, présente sa « baderne » (fig. 62) qui est construite à partir d'un triangle curviligne dans lequel est inscrit un cercle, puis dans chacun des trois nouveaux triangles qui apparaissent on peut encore inscrire un cercle, la construction se poursuivant indéfiniment. En 1520, Albrecht Dürer construit une image fractale à partir d'un pentagone (fig. 63). Puis viennent Cantor et sa *poussière* (fig. 64), Peano et sa courbe (fig. 65 et 66), Sierpinski et son *éponge* (fig. 67), von Koch et son fameux flocon (fig. 68), Julia et ses ensembles (fig. 69).

¹⁰² Susan Condé, *La Fractalité dans l'art contemporain*, Paris, La Différence, 2001, p.24.

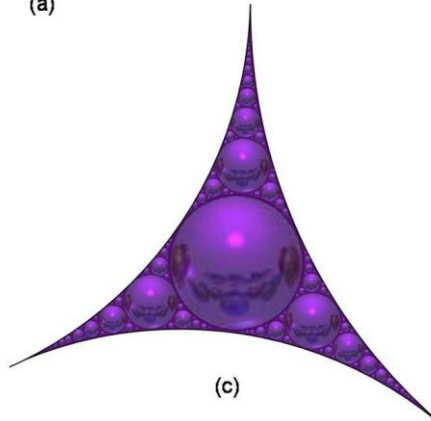
¹⁰³ Benoit Mandelbrot, *Les objets fractals, Forme, hasard et dimension*, Flammarion, coll. Champs, 1995, p. 5.



(a)



(b)



(c)

Fig. 62 : les étapes de la construction de la baderne d'Apollonius.

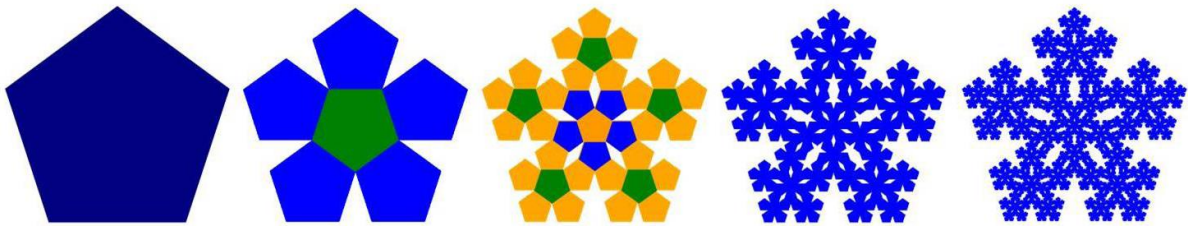


Fig 63 : Les cinq premières étapes de la construction du pentagone de Dürer.

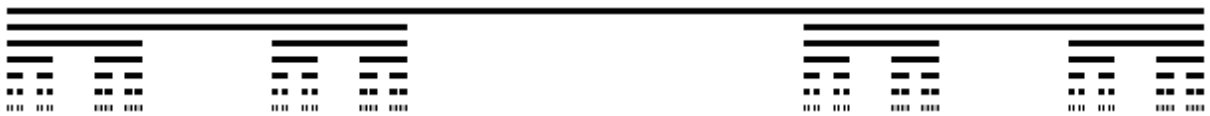


Fig. 64 : Les sept premières étapes de la construction de la poussière de Cantor.

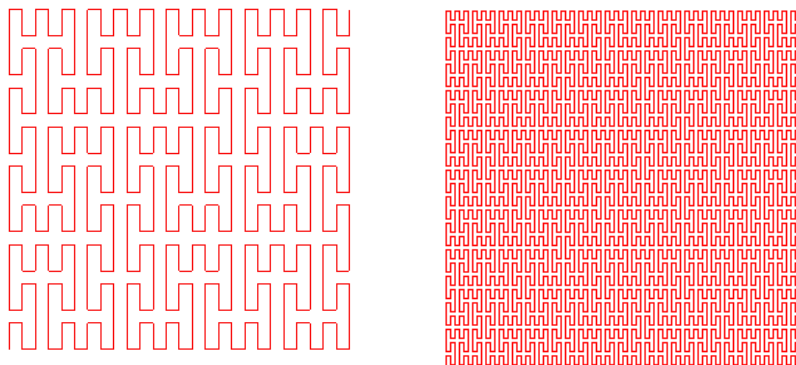


Fig. 65 et 66 : deux étapes de la représentation de la courbe de Peano.

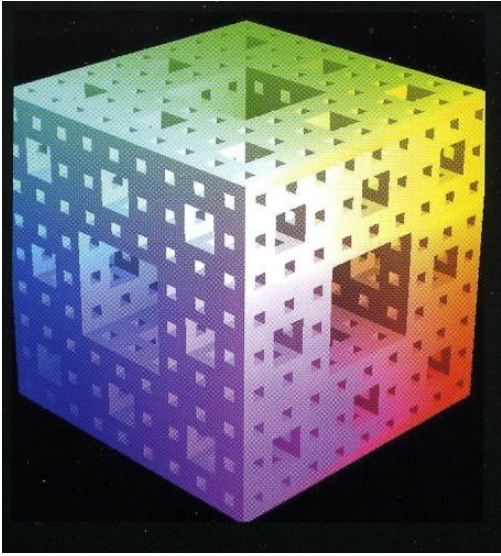


fig. 67 : éponge de Sierpinski

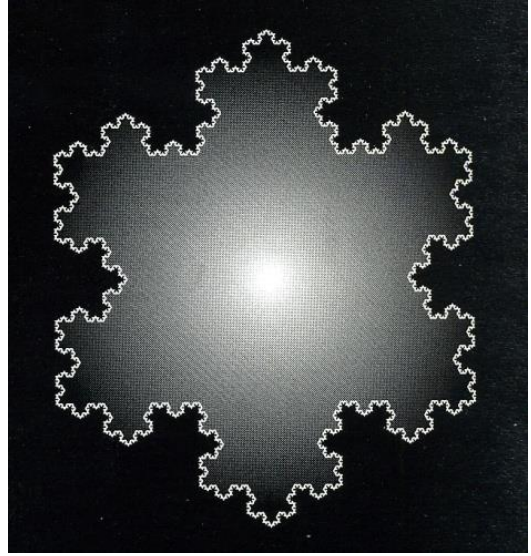


Fig. 68 : Flocon de Von Koch.

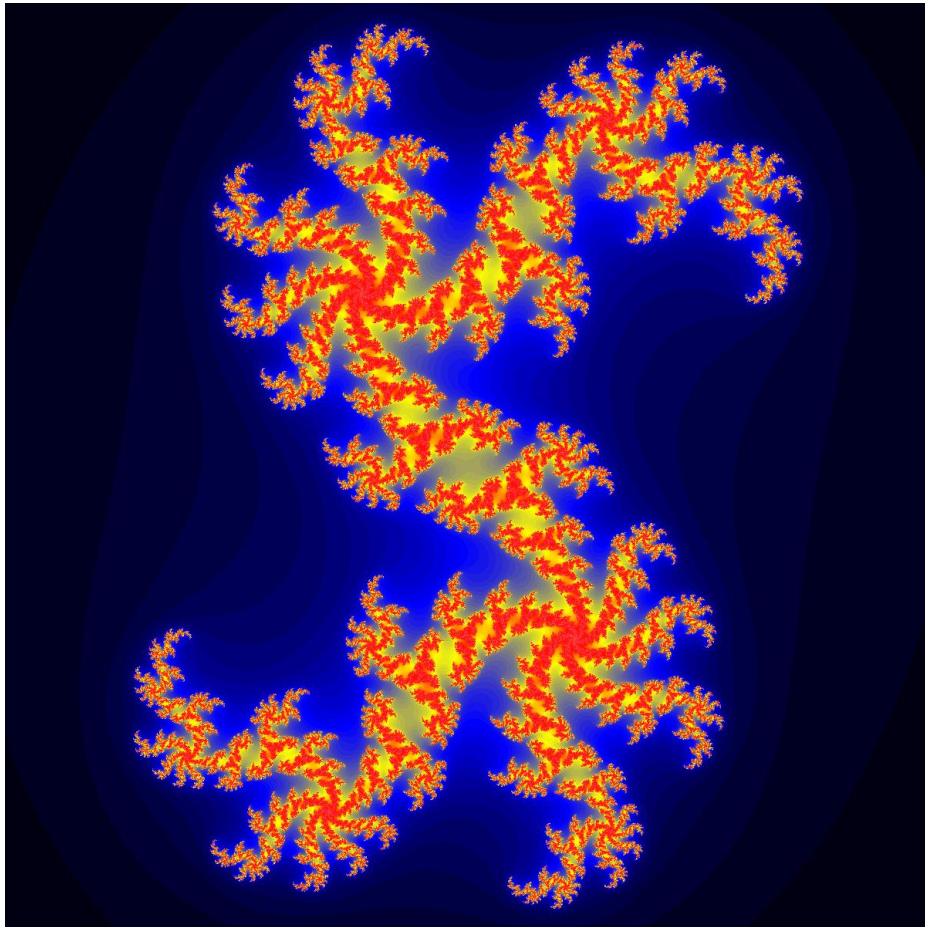


Fig. 69 : ensemble de Julia.

Dans la « théorie de la rugosité » développée par B. Mandelbrot, une fractale désigne un objet dont la structure est invariante par changement d'échelle. Les images fractales que l'on obtient en représentant des équations mathématiques sont fascinantes car ce sont des objets mathématiques dont il se dégage une certaine esthétique. Les images obtenues sont très complexes, et si on les observe à la loupe, elles laissent indéfiniment apparaître le même découpage de leur périmètre. Mandelbrot était atypique et s'est parfois attiré les foudres de ses collègues qui lui reprochaient un mode de raisonnement pas assez formel. Il utilisait beaucoup son intuition et a fait preuve de beaucoup d'imagination et de poésie dans les noms qu'il a donnés à certains de ses objets fractals comme « escalier du diable » ou tranches de « fromage fractal d'Appenzel » à trous ronds aléatoires. La courbe de Peano (fig. 65 et 66) qui remplit un espace fini par une courbe de longueur infinie, fait penser à un paysage envahi, saturé, labyrinthique, irrégulier.

Le problème de la dimension a beaucoup hanté les artistes, par exemple la représentation de notre espace physique à trois dimensions sur l'espace bidimensionnel de la feuille de papier a longtemps été difficile, avant que les lois de la perspective n'aient été découvertes. Pour certains artistes, la recherche de la 4^{ème} dimension, par exemple pour Matisse qui avait lu les écrits d'Henri Poincaré sur le sujet, a été une quête à laquelle ils ont répondu de différentes façons. Les peintres russes, les cubistes se sont posé les mêmes questions. L'artiste Agam, avec ses recherches sur l'art cinétique prétend avoir trouvé la quatrième dimension. Pendant longtemps, on est resté à ces quelques dimensions bien répertoriées, 1, 2, 3, voire 4. Benoit Mandelbrot a bousculé ces certitudes en introduisant ses « objets fractals » que certains qualifient de « monstres » car ces objets ont des dimensions incongrues comme le flocon de Von Koch (fig. 68) qui est de dimension $\text{Log}(4/3) \approx 1,288$. Il dit : « La nouveauté sera que j'identifie des zones fractales, dont la dimension est, soit une fraction, soit un entier “ anormal ” lui aussi descriptif d'un état irrégulier ou brisé ». ¹⁰⁴

Pourquoi parler de ces objets fractals dans un exposé d'art plastique ? L'objet n'est pas ici de faire un cours de mathématiques mais de montrer en quoi la théorie des fractales est liée à l'art. D'abord c'est la seule théorie mathématique qui a donné son nom à un courant artistique. En effet l'art fractal existe. Même si cet art n'a pas encore acquis ses lettres de noblesse, même si parfois le risque est de le cantonner à un art purement décoratif, il a néanmoins le mérite de poser beaucoup de questions. Tout d'abord on ressent une certaine

¹⁰⁴ *Ibid.*, p.14.

fascination devant les images fractales obtenues grâce à des ordinateurs auxquels on a confié le soin de digérer des formules mathématiques qui sont la plupart du temps assez hermétiques à bon nombre d'entre nous. Ensuite les fractales posent un problème lié à la représentation : ce n'est plus l'artiste qui représente une image, qu'elle soit visuelle ou mentale, mais c'est au départ une simple équation mathématique qui, par le truchement d'une machine, permet la réalisation d'une telle image. Voici quelques images étonnantes de fractales (fig. 70 et 71), qui représentent des variations du célèbre ensemble de Mandelbrot en modifiant certains paramètres tels que les couleurs par exemple.

Récemment, des artistes et des scientifiques font des recherches sur la représentation de fractales en 3D et ont obtenu des images de ce qu'ils ont baptisé « *mandelbulb* » (fig. 72).

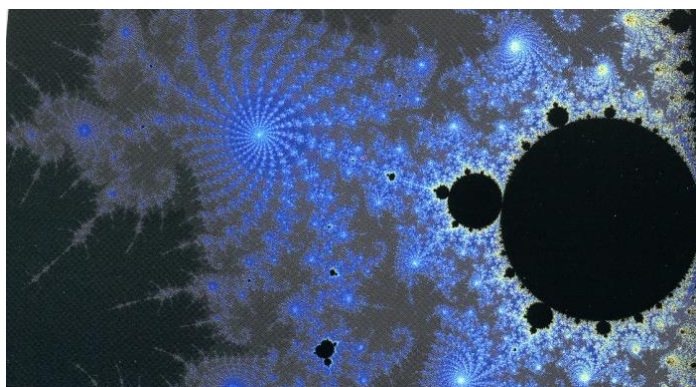


Fig. 70



fig. 71

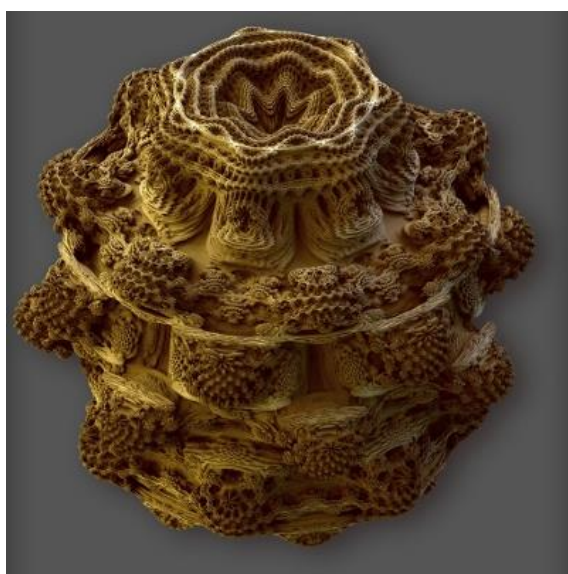


fig. 72 : *Mandelbulb*.

4. L'art fractal

Bien sûr, introduire la fractalité dans l'art, ce n'est pas seulement produire des images, aussi belles soient-elles, qui ne seraient que l'illustration d'ensembles mathématiques définis par des équations mathématiques. Susan Condé dit :

Pour que les choses soient claires d'entrée de jeu, il convient de préciser que l'art fractal ne se résume pas à l'intégration artistique des ensembles de Mandelbrot ou des courbes de Von Koch, pas plus que dans l'art cubiste il ne s'agit de cubes ou de la traduction picturale, littéraire et didactique de structures non euclidiennes comme les selles de Lobatchevski ou les sphères de Riemann.¹⁰⁵

Dans une œuvre où apparaît une certaine fractalité, l'autosimilarité ne présente pas l'exactitude que l'on peut retrouver dans une fractale mathématique. Il s'agit d'utiliser la notion de fractalité comme une métaphore et non pas comme une application stricte du concept mathématique.

Les images étonnantes que l'on peut obtenir à partir des fractales, ont inspiré beaucoup d'artistes et en octobre 1997 le groupe « Les Fractalistes - Art et Complexité » publie un manifeste sur le site d'art NART¹⁰⁶(voir ANNEXE E, p. 323). Il fut également publié dans la revue d'art mensuelle Art Press numéro 229 (Paris), en novembre 1997. Il fut cosigné par les membres du groupe fractaliste de l'époque : Edward Berko, [Miguel Chevalier](#), Pascal Dombis, [Carlos Ginzburg](#), Cesar Henao, Jim Long, Steven Marc, [Jean Claude Meynard](#), [Joseph Nechvatal](#), Yvan Rebyj, Pierre Zarcate, ainsi que par trois intellectuels : [Christine Buci-Glucksmann](#) (philosophe), Susan Condé (écrivain) et Henri-François Debailleux (critique d'art à Libération et commissaire d'expositions fractalistes).

A la suite de ce manifeste les artistes fractalistes ajoutent : « Nous croyons que la complexité fractale en art est surtout, et par analogie avec le titre du texte de Roland Barthes, "L'Activité structuraliste", une activité. »¹⁰⁷ Ils poursuivent :

Nous sommes conscients des contraintes imposées par les schémas réducteurs, les perceptions banales de l'infini avec leurs limites implicites, leurs idéalizations qui font l'impasse sur le complexe, l'irrationnel, l'immensurable, le dynamique, le non-linéaire, la différence, l'inconscient, l'aléatoire.¹⁰⁸

¹⁰⁵ Susan Condé, *op.cit.*, p.22.

¹⁰⁶ <http://www.nart.com>

¹⁰⁷ Susan Condé, *op.cit.*, p.147.

¹⁰⁸ *Ibid.*, p.148.

Plusieurs des travaux personnels que je présente dans ce mémoire répondent à un ou plusieurs des critères énoncés dans le manifeste du Fractaliste. Les œuvres qui sont concernées par ces remarques sont les suivantes : *Miroir fractal* (fig.50), *Chaos urbain* (fig.51), *Vertige* (fig.58), *Arbre fractal* (fig.85) et *Implosion de Beaubourg* (fig.94). La complexité chaotique-fractale est présente dans chacune de ces œuvres. Il y a une organisation visuelle qui correspond à une construction sans limite. Les formes sont proliférantes. Toutes les œuvres présentées peuvent être considérées comme fractales car elles sont maximalistes et contiennent un excès d'information ce qui permet ainsi d'accéder au vertige fractal.

Pour les artistes fractalistes, la vision est labyrinthique et l'imaginaire se reconstruit autour de perspectives nouvelles. Ils parlent d'une spirale ordre-désordre, dans laquelle l'œuvre est l'émergence éphémère d'une hybridation, d'un passage. Toutes ces caractéristiques s'appliquent tout particulièrement à *Vertige* où la mise en abyme fonctionne comme une sorte de spirale, de labyrinthe infini où le regard se perd à la recherche d'un passage vers d'autres mondes. On est dans l'irreprésentable dont parle Marguerite Neveux à propos de l'œuvre d'Escher.

L'art fractal modifie la relation entre l'œuvre et le spectateur. Les différences d'échelles modifient la perception, l'autosimilarité des différentes parties de l'image permet des regards à des niveaux différents. Selon l'endroit où le regard du spectateur se pose, celui-ci se place ou non dans la représentation. Le passage d'un premier plan à un arrière-plan de façon aléatoire et arbitraire fait circuler le regard qui se perd, va du détail à l'ensemble. Le regardeur ne fait plus l'œuvre, il s'y intègre, la parcourt, la quitte, y revient et, de cette façon, accompagne l'artiste dans son cheminement où les formes prolifèrent à l'infini. Le rêve apparaît, rien n'est terminé, l'imagination peut vagabonder, l'imaginaire de chacun peut s'alimenter de ce qu'il voit. La richesse de l'œuvre fractale est due à sa dynamique, à ses processus imprévus. L'ordre et le désordre s'y côtoient, le parcours y est labyrinthique, on s'y perd, on s'y noie, on y pressent le chaos qui nous entoure. Les images évoquent le chaos social, les catastrophes, les turbulences du monde. L'art est en osmose avec notre espace environnant, la prolifération des réseaux, on passe du local au global avec la mondialisation. Le paradigme de la complexité chaotique-fractale est un puissant moteur pour la création et il est devenu impossible d'échapper à ce nouveau modèle, l'artiste du XXI^e siècle ne peut plus ignorer ces nouvelles notions de réseaux, jeux d'échelles, prolifération, autosimilarité,

hybridation, récursivité, structures dissipatives, « effet papillon », attracteurs étranges, infinitisation.

Jean-Claude Meynard est l'un des signataires de ce manifeste. Son travail plastique illustre parfaitement cette dualité entre cartésianisme et fractalité. Dans les années 70, il s'inscrit dans le courant de l'hyperréalisme, puis petit à petit son œuvre s'oriente vers une complexité où la dimension fractale est présente (fig. 73). Il dit :

*La géométrie fractale dispose d'un potentiel immense, elle me paraît la plus ouverte. Conjugée au numérique, elle permet de mixer un réel, une nature (je préfère le mot nature à celui de réel), et de faire en sorte que les réseaux, les pixels, les touches de couleurs soient des composantes du sujet, du vivant, de l'œuvre. Le but étant, je le répète, d'ouvrir de nouvelles perspectives et de regarder le monde d'une manière non finie, non définitivement définie et de redonner des possibilités de composition et recomposition, donc de vie*¹⁰⁹

En parlant du travail de Jean-Claude Meynard, Christine Buci Glucksmann dit :

*« La fractalisation plastique passe par une mise en abîme, où le plan devient une machine anamorphique et une perspective inversée. Les strates se combinent et bougent, mettant le regard dans une variation et un déplacement continu. Entre tableau et sculpture, la surface est devenue l'interface d'un monde hétérogène, chaotique et ordonné ».*¹¹⁰

À propos du travail de J.C.Meynard le critique Giovanni Lista parle de « rébus visuel ».

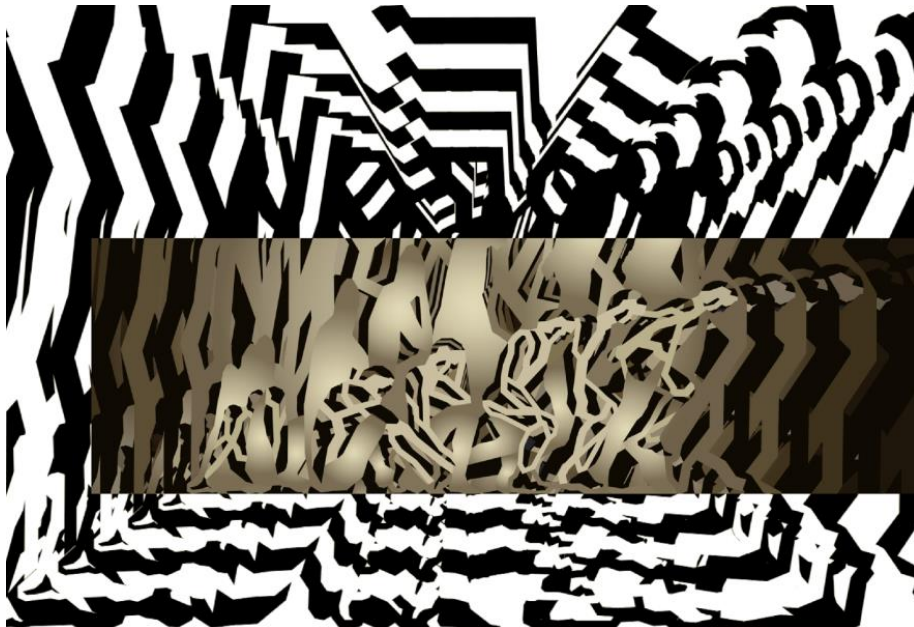


Fig.73 : J.C. Meynard, *La Géométrie des Enigmes*, 2010, sérigraphie.

¹⁰⁹Entretien avec Jean-Claude Meynard et Henri-François Debailleux, in Meynard, Fragments Editions, Paris 2004, p 22.

¹¹⁰ Christine Buci-Glucksmann, in Catalogue Le Temps fractal, Galerie Xippas, Paris – 2000.

Pour Susan Condé, de nombreux artistes avaient pressenti cette introduction de la fractalité dans leurs œuvres :

La pensée de la fractalité peut servir d'outil de lecture pour d'autres œuvres d'art, par exemple nous pouvons considérer la fractalité d'une œuvre de Hokusai, détecter des éléments de la fractalité dans les œuvres de Virginia Woolf, ou lire un passage de Proust en notant l'autosimilarité des motifs qui se répètent à la manière d'une fugue dans les phrases.¹¹¹

En effet, si l'on regarde la grande vague de Hokusai (fig. 74), on constate que les motifs de la vague principale sont repris indéfiniment à une échelle plus petite sur toutes les vaguelettes qui constituent la grande vague. Dans cette image la fractalité est aussi associée à la notion de chaos, la taille de la vague laissant supposer une catastrophe comme par exemple un typhon ou un tsunami.



Fig. 74 : Hokusai, *La Grande vague de Kanagawa*, 1830, estampe.

Dans leur livre *Un Miroir turbulent*, John Briggs et E. David Peat étudient l'autosimilarité qui apparaît dans certaines œuvres et en particulier chez le peintre David Hockney :

Dès que la géométrie fractale a été découverte par Benoît Mandelbrot, les artistes ont commencé à prendre conscience qu'elle représentait une caractéristique de leur art. "Avec une fractale, vous regardez toujours et encore plus profondément et tout continue à être fractal", dit le peintre britannique David Hockney. "C'est une voie vers une plus grande conscience de l'unité" Hockney considère son propre travail comme holographique et fractal.¹¹²

¹¹¹ Susan Condé, *op.cit.*, p.55.

¹¹² John Briggs & E. David Peat, *Un miroir turbulent, Guide illustré de la théorie du chaos*,

Benoit Mandelbrot ne s'est pas contenté d'être un grand mathématicien, il soutenait depuis plusieurs années le « Fractal Art Contest » qui est un concours international d'art fractal. Il en était le président d'honneur et lors de son discours d'accueil en 2007 il dit :

Ce qui distingue la géométrie fractale dans les mathématiques est une caractéristique exceptionnelle et troublante. Ses premiers pas ne sont pas ennuyeux, difficiles, ingrats, mais ludiques et extrêmement faciles, et fournissent de riches récompenses en termes de graphismes époustouflants. Pour le mathématicien, ils offrent une foule de conjectures très difficiles que personne ne peut résoudre. Pour l'artiste, ils fournissent des squelettes autour de laquelle l'imagination peut jouer à volonté. Pour tout le monde, quelques pas dans n'importe quelle direction donnent un extraordinaire plaisir. Rien n'est plus sérieux que de jouer. Allons tous jouer.¹¹³

5. Le hasard mis en scène

Les fractales permettent de décrire les phénomènes complexes, non linéaires, non déterministes et donc aléatoires. Il existe deux types de fractales, les fractales mathématiques, déterministes qui s'auto reproduisent avec des processus itératifs rigoureux. On peut aussi considérer des processus de proliférations infinis où s'intègre une part de désordre. Benoit Mandelbrot a intégré cette part de hasard dans son étude des fractales :

La géométrie fractale est caractérisée par deux choix : le choix de problèmes au sein de la nature, car décrire tout serait une ambition sans espoir et sans intérêt, et le choix d'outils au sein des mathématiques, car chercher des applications aux mathématiques, simplement parce qu'elles sont belles, n'a jamais causé que des déboires. Progressivement mûris ces deux choix ont créé quelque chose de nouveau : entre le domaine du désordre incontrôlé et l'ordre excessif d'Euclide, il y a désormais une nouvelle zone d'ordre fractal.¹¹⁴

Benoit Mandelbrot dit à propos de son ouvrage, *Les Objets fractals* :

Cet essai n'invoque le hasard, tel que le calcul des probabilités nous apprend à le manipuler, que parce que c'est le seul modèle mathématique dont dispose celui qui cherche à saisir l'inconnu et l'incontrôlable. Fort heureusement, ce modèle est à la fois extraordinairement puissant et bien commode.¹¹⁵

¹¹³ <http://www.fractalartcontests.com/2007/about.php>

¹¹⁴ Benoît Mandelbrot, *op.cit.*, p.10.

¹¹⁵ *Ibid.*, p.44.

Il a étudié des phénomènes comme les erreurs de transmission dans les télécommunications et il a constaté que ces erreurs qui sont régies par le hasard, s'organisent et reproduisent des structures fractales mathématiques :

L'ensemble des erreurs vient d'être décrit en enlevant de la droite des intermissions de plus en plus courtes. Observer cette structure m'a irrésistiblement fait penser à une célèbre construction mathématique, dont le résultat est généralement appelé ensemble de Cantor, mais qui recevra dans ce livre l'appellation de "poussière de Cantor".¹¹⁶

Là encore, B. Mandelbrot utilise un vocabulaire imagé et poétique pour désigner un ensemble mathématique. Cette désignation à résonance poétique nous ramène au domaine de l'art. Le hasard, cette notion mathématique utilisée en particulier dans la théorie des probabilités, a servi de support à certains artistes pour réaliser leurs œuvres. François Morellet a peint des suites de carrés qui figurent des suites aléatoires de chiffres pris dans un annuaire téléphonique (fig. 75), les chiffres pairs et les chiffres impairs étant peints de deux couleurs différentes. Gerhard Richter a lui aussi utilisé une répartition aléatoire de 25 couleurs pour composer plusieurs tableaux (fig. 76). Il est intéressant de noter que dans ces deux types de travaux, un choix aléatoire semble provoquer une répartition assez régulière, le hasard étant capable de s'organiser lorsqu'on répète un grand nombre de fois la même expérience. C'est ce qui sous-tend la théorie du calcul de probabilités. Dans son ouvrage *la Symétrie du chaos*, Michael Field explique que le chaos et la symétrie, qui sont en apparence deux notions antinomiques, se rejoignent lorsque, après un grand nombre d'itérations du déplacement d'un pixel, il obtient des images présentant une certaine symétrie (fig.77).

On peut reconnaître une structure fractale dans les travaux de Morellet et de Richter. Le travail final est un grand carré et chaque partie de la représentation est encore un carré. Il y a donc autosimilarité de la forme dans ces deux œuvres. Dans ces deux œuvres l'intervention de l'artiste est réduite au minimum, c'est le hasard qui commande la réalisation du travail. Mais un hasard qui obéit à des règles rigoureuses, et on peut dire alors que l'imprévisible surgit de la rigueur. On peut ainsi constater qu'une certaine unité se dégage de l'œuvre finale. L'ensemble présente à la fois une sorte d'uniformité mais en même temps le tout est fragmenté, morcelé. Il y a un rapport évident du tout à la partie, une relation fractale entre chaque petit carré et l'œuvre considérée dans sa totalité.

¹¹⁶ *Ibid.*, p.52.

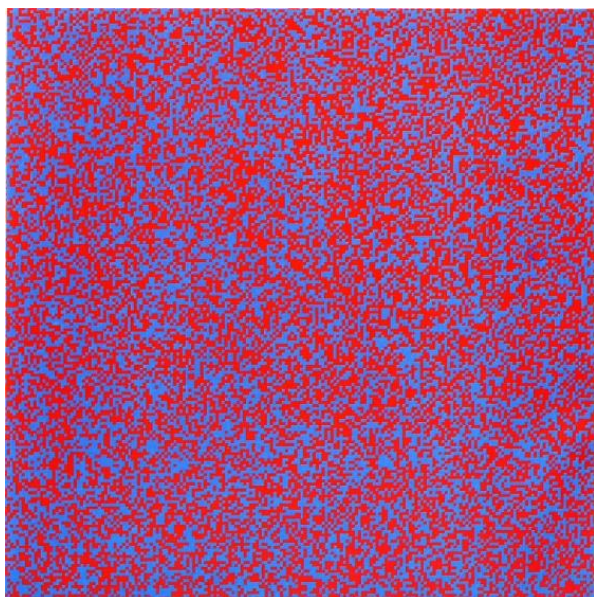


Fig. 75



fig. 76

fig. 75 : François Morellet, *Répartition aléatoire de 40000 carrés selon les chiffres pairs et impairs d'un annuaire de téléphone*, 1961, huile sur toile, 100 × 100 cm.

Fig. 76 : Gerhard Richter, *4900 farben*, (4900 Couleurs), 1974, huile sur toile, 679 × 679 cm.

Susan Condé, qui a cosigné le manifeste des artistes fractalistes et a analysé l'introduction de la fractalité dans l'art, a retrouvé dans la peinture de Jackson Pollock une structure fractale, en effet, lorsqu'on s'approche de ses toiles abstraites une certaine fragmentation est visible. Cette technique qui consiste à jeter sa peinture de façon aléatoire sur la toile illustre l'idée que le chaos génère une forme d'ordre. En effet les toiles de Pollock présentent une certaine unité d'ensemble, une sorte de régularité issue du hasard. C'est l'illustration que le hasard est ordonné. La répétition d'événements aléatoires s'organise sur le long terme, c'est la base même du calcul des probabilités qui se fonde sur des lois établies à partir de données statistiques établies sur la répétition d'un même événement un grand nombre de fois. S'il est vrai qu'il est impossible de prévoir l'issue d'un événement isolé, il est par contre possible de prévoir la répartition de nombreuses occurrences d'un événement. De la même façon la théorie des catastrophes décrit les points de rupture de structures, le moment où un événement catastrophique peut survenir. Notre monde, que nous voudrions si organisé, n'est pas à l'abri de ces « accidents de parcours », de ces perturbations qui surviennent au moment où elles ne sont pas attendues. Cette idée que le monde ne pourra jamais se développer de façon linéaire et ne pourra pas éviter ces moments de rupture, que ce soient les

catastrophes naturelles ou les perturbations socio-économiques, est une source très riche d'inspiration pour les artistes. L'utilisation des fractales en art permet de faire des représentations pertinentes du monde vivant. Il faut pour cela dépasser le simple effet décoratif, et avoir une réflexion plus profonde sur la manière de les utiliser.

6. *Le paysage fractal*

Les fractales permettent une approche de la nature et du vivant puisque l'on retrouve des structures fractales dans bon nombre de situations : les côtes très découpées comme la côte bretonne, les feuilles de fougères, le chou Romanesco (fig. 77), l'arborescence des bronches pulmonaires, etc.



fig. 77 : Chou Romanesco (photographie personnelle).

La construction mathématique de fractales permet d'obtenir des images de paysages « fractals ». Ce sont des images de synthèse qui ressemblent étrangement à un paysage. Jean-François Colonna et Jos Leys se sont essayés à la création de telles images, en voici deux exemples (fig. 78 et 79).

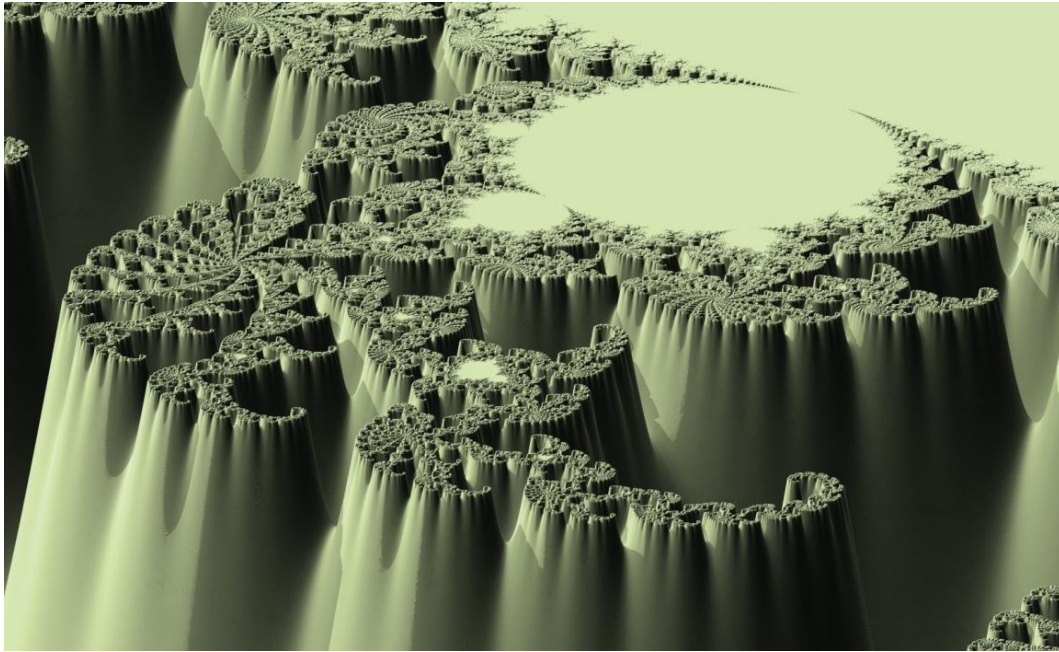


Fig. 78 : Jos Leys, *Une Vue sur la vallée des éléphants*.

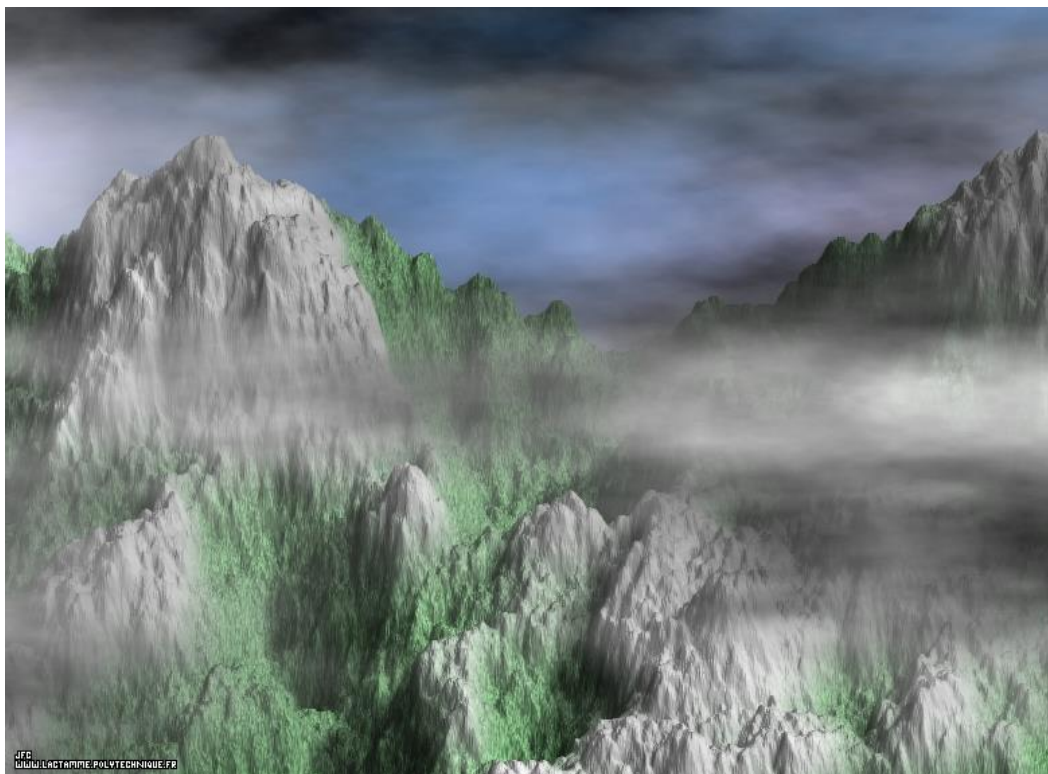


Fig. 79 : J.F.Colonna, *Synthèse fractale de montagnes avec de la végétation et des nuages d'orage*.

L'arborescence des arbres présente une structure fractale, en effet chacune des branches peut être considérée comme une miniaturisation de l'arbre entier. Il est intéressant de remarquer que parmi les nombreux objets fractals mathématiques il y a les arbres fractals. Par exemple l'arbre de Pythagore est obtenu à partir de la célèbre figure qui illustre le théorème de Pythagore (fig. 80). Dans cette figure le grand carré est de côté 5, le carré moyen de côté 4 et le petit carré est de côté 3. On retrouve ainsi l'égalité $AB^2 = AC^2 + BC^2$ qui prouve que le triangle ABC est rectangle en C.

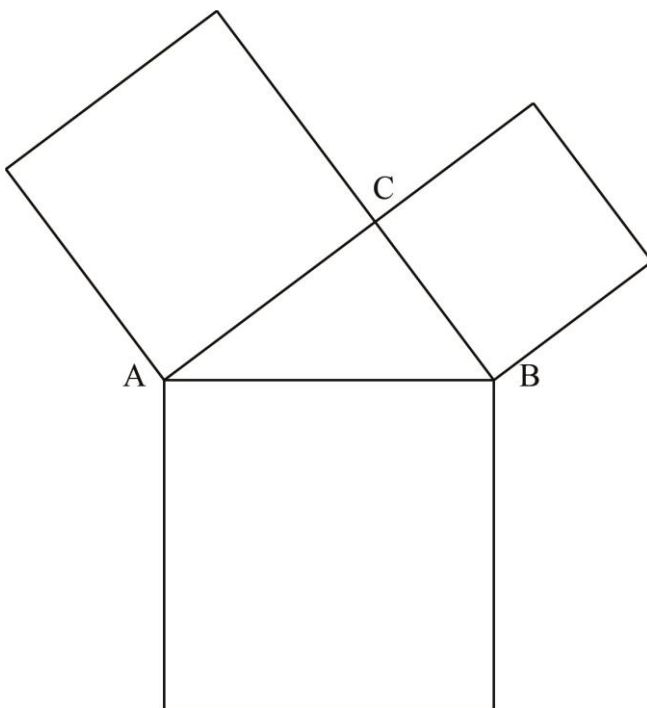


Fig. 80

Pour construire l'arbre de Pythagore on copie indéfiniment la figure précédente sur chaque nouveau carré avec un rapport d'homothétie approprié. Voici ci-dessous deux étapes de la construction que j'ai réalisée à partir de la figure de base (fig. 81) et (fig. 82). Bien sûr, il serait intéressant de reproduire le processus à l'infini, mais il arrive toujours une étape où le processus devient difficile à poursuivre. Lorsque le nombre d'étapes est suffisamment important on voit apparaître une nouvelle forme qui fait penser de façon évidente à un arbre.

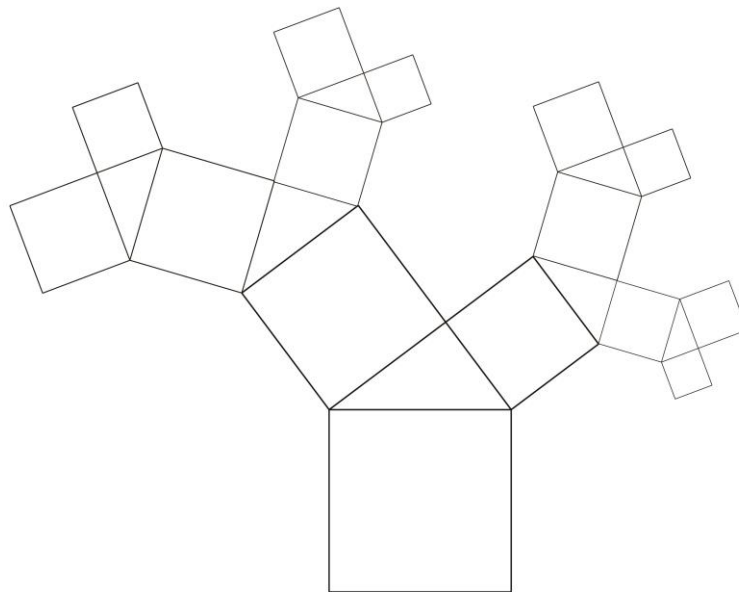


Fig. 81 : Construction d'un arbre de Pythagore après 4 étapes

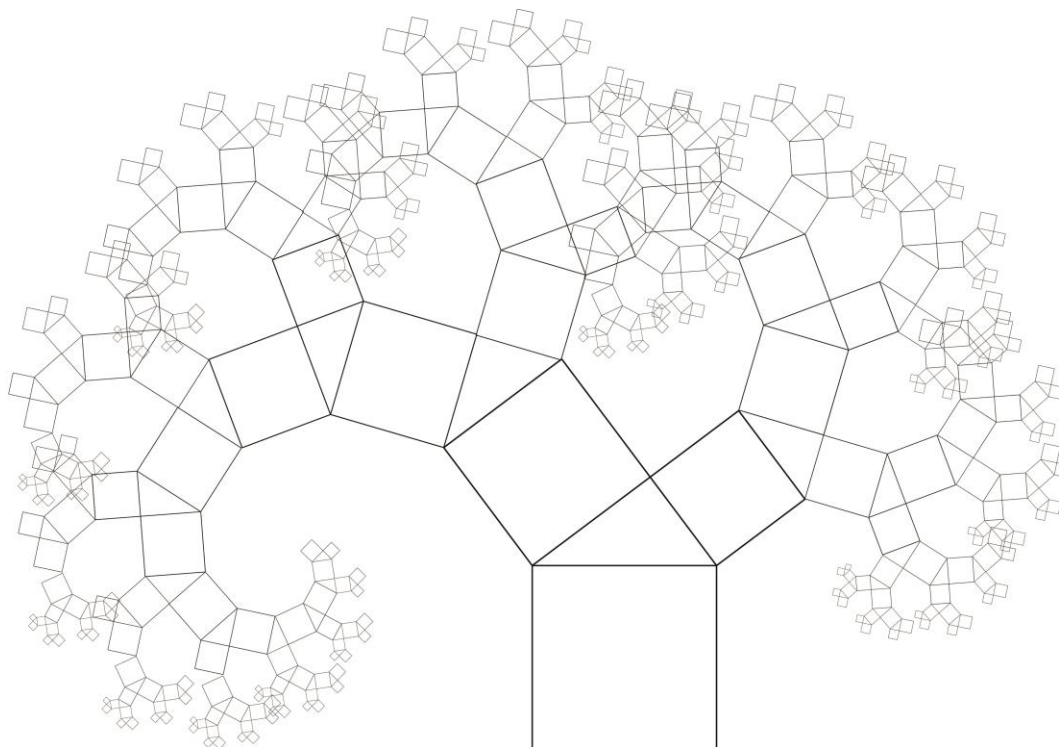


Fig. 82 : Construction d'un arbre de Pythagore après 12 étapes.

J'ai ensuite exploité cette construction en utilisant les cercles inscrits dans chacun des carrés (fig. 83). En l'appliquant à l'arbre entier on obtient la figure suivante (fig. 84).

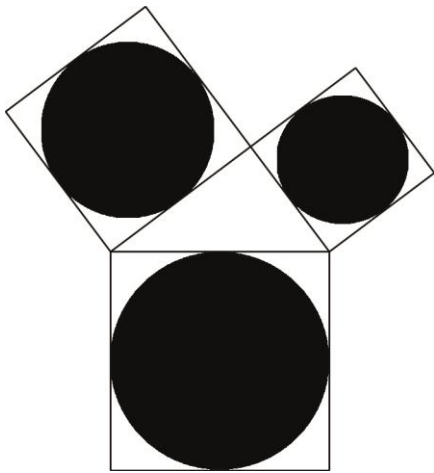


Fig. 83

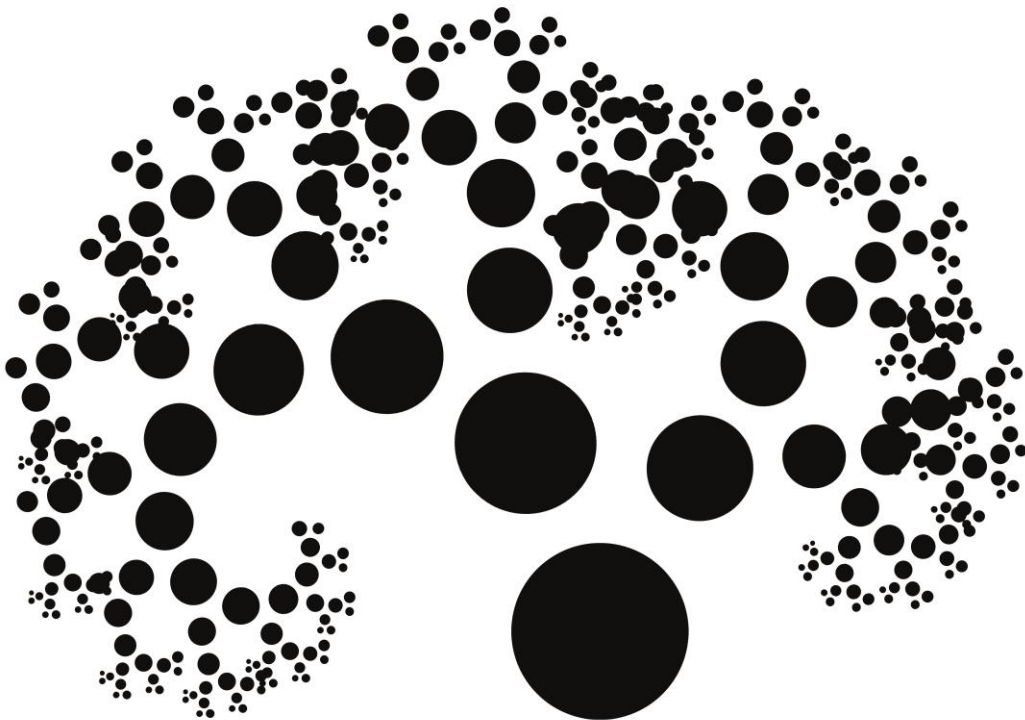


Fig. 84 : Arbre de Pythagore construit avec les cercles inscrits dans les carrés de la figure initiale.

Cette fois c'est une construction complètement procédurale qui utilise des règles géométriques rigoureuses. On parle de fractales déterministes qui utilisent un processus itératif de construction. J'ai ensuite réutilisé ma photo de rizières « suspendues » (fig. 34), et

je l'ai intégrée dans chaque cercle. J'ai repris la même photo que j'ai « désaturée » pour obtenir un fond en noir et blanc qui fait penser au Sfumato de Léonard de Vinci. L'image finale (fig. 85) a un côté surréaliste avec cet arbre dont les branches sont constituées de rizières suspendues dans lesquelles apparaissent des figures anthropomorphiques, le tout se diluant dans un infini insaisissable.

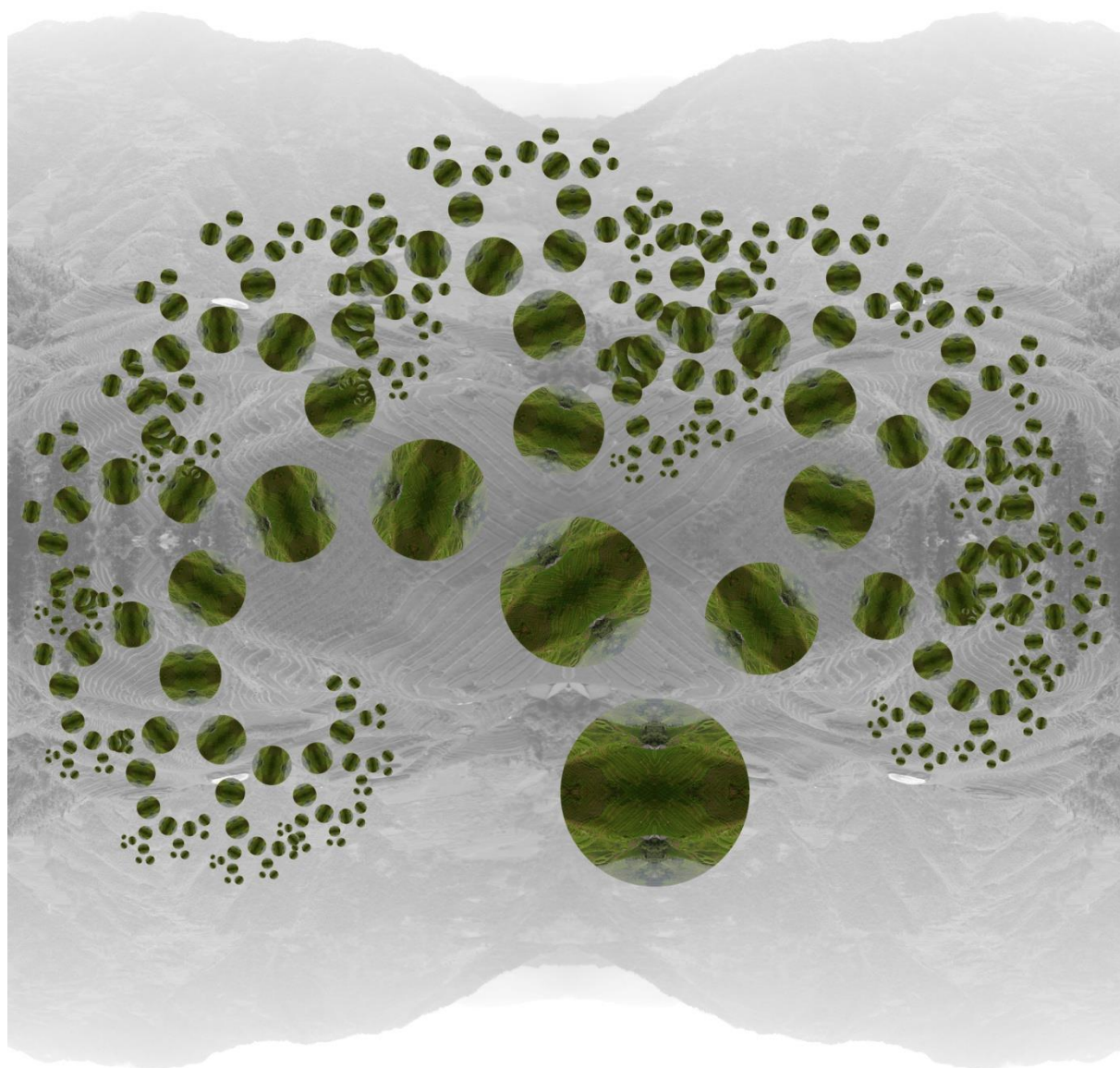


Fig. 85 : Denise Demaret, *Arbre fractal*, 2011, photomontage.

Pour présenter mon arbre construit à partir de rizières je l'ai reproduit de différentes tailles de façon à créer un nouvel arbre fractal que je présente sur un mur (fig. 86)



Fig. 86 : Denise Demaret, *Présentation arbre fractal*, 2011.

7. *Le temps fractal*

La physique repose aujourd'hui sur deux grandes théories. La relativité générale est une théorie de la gravitation qui décrit le monde à l'échelle des distances astronomiques, monde calme, prévisible. À l'opposé, la mécanique quantique décrit le monde des particules dites élémentaires qui, par comparaison avec le monde sensible, paraît agité et imprévisible. Mais l'application conjointe de ces deux théories est à l'origine de nombreuses incohérences. On a donc vu émerger la théorie des cordes qui émet l'hypothèse que notre Univers serait

construit à partir de sortes de cordelettes vibrantes. Toujours selon cette théorie, notre monde, apparemment tridimensionnel, serait non pas constitué de trois dimensions spatiales, mais de 10, 11, ou même 26 dimensions, on introduit ainsi les espaces de Calabi-Yau, lesquels pourraient contenir notre espace-temps. Ces nouvelles notions balaient l'image que nous avons d'un temps linéaire et nous laissent imaginer des espaces courbes où des temps différents se rencontrent. C'est une nouvelle vision du temps, un temps fractal associé à des espaces multiples, repliés sur eux-mêmes à une échelle microscopique. Le temps a toujours été une préoccupation importante chez beaucoup d'artiste, le temps qui passe, le temps infini, le temps de la vie, le temps de la mort. Maintenant c'est un temps fractal qui s'offre à leur imaginaire, avec ces petites cordes vibrantes qui seraient les brins de l'espace-temps. C'est le thème du roman de José Carlos Somoza *La Théorie des cordes*, où les personnages évoluent dans des espaces-temps parallèles.

Dans son mémoire de thèse *Opacité et infini*, Françoise Beurey travaille sur la fractalité du temps. Pour illustrer cette notion elle a réalisé une œuvre qu'elle a intitulé *La Constellation de Peano* (fig. 87 et 88), où elle reprend la courbe de Peano et ses irrégularités. Sur le tracé de la courbe de Peano elle a fixé des négatifs de son visage pris à des instants différents. Dans ce travail elle a choisi de représenter le temps par une ligne, mais une ligne fractale pour mettre en évidence des « temporalités multiples »¹¹⁷.

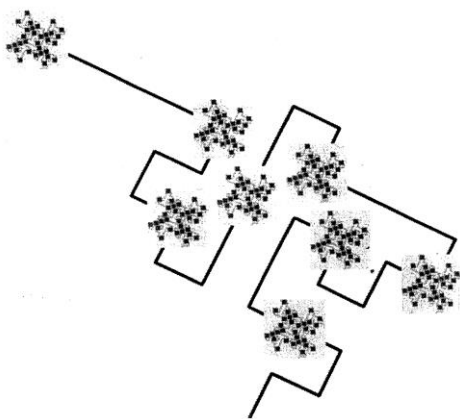


Fig. 87

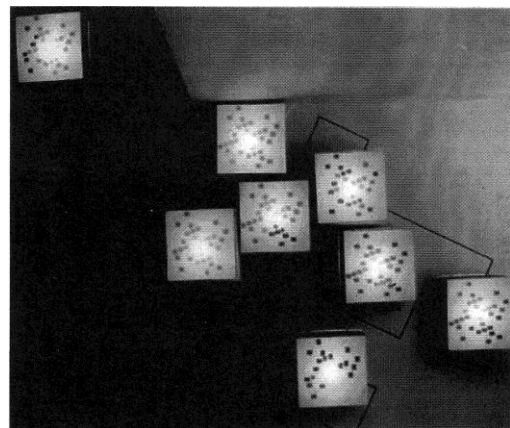


Fig. 88

Fig. 87 et 88 : Françoise Beurey, *La Constellation de Peano*, 2001-2005, contre-plaqué, fil électrique, séquenceur, papier calque, négatifs photographiques, 344,5 × 320,5 cm.

¹¹⁷ Françoise Beurey, *Opacité et infini, l'œuvre et le temps*, thèse de doctorat, Paris 1, 2007, p.36.

A propos du temps, les artistes fractalistes disent : « L'heure est la minute est l'éternité est la seconde. »¹¹⁸. On peut remarquer que cette phrase utilise dans sa construction un processus fractal d'auto-référence.

8. *Postmodernisme et fractalité*

L'époque postmoderne incarne une rupture avec l'excès de rationalisation qui a conduit au fonctionnalisme en architecture avec des formes froides et géométriques où la fonctionnalité primait sur la forme comme par exemple dans l'habitat conçu par le Corbusier. Cette période de la modernité voit l'émergence de nombreuses expérimentations en art, sous-tendues par l'idée d'une accession à l'universel. Les mouvements d'avant-garde s'appuient sur une idéologie où il y a équivalence entre révolution artistique et révolution sociale. Marc Gontard dit :

*C'est à l'époque des Lumières qu'apparaît cette idée essentielle selon laquelle le progrès ininterrompu des connaissances conduit à l'émancipation de l'homme dans une société de plus en plus libérée. Liée à l'essor du rationalisme cartésien la modernité se caractérise donc par une sorte de darwinisme social qui associe, selon la vision hégélienne de l'Histoire, le progrès infini des connaissances et l'émancipation des peuples.*¹¹⁹

Susan Condé dit :

*Des concepts cartésiens de l'être ont été le propos des utopistes. Platon, Aristote, Descartes, Euclide, Leibniz, Hegel, marxisme et stalinisme, néo-positivisme, science cognitive et intelligence artificielle : systèmes, logiques et géométries à partir de l'espace et de la forme et, par prolongation, des formalisations utopistes de l'être.*¹²⁰

Mais cette vision déterministe d'un progrès incontournable a ses limites, surtout avec les atrocités vécues durant la Seconde Guerre Mondiale. Les idées postmodernes voient alors le jour. Jean-François Lyotard en est un des plus ardents défenseurs.

Pour J.F. Lyotard « le trait frappant du savoir scientifique postmoderne est l'immanence à lui-même, mais explicite, du discours sur les règles qui le valident »¹²¹. Il ajoute « La recherche métamathématique qui aboutit au théorème de Gödel est un véritable

¹¹⁸ Susan Condé, *Op.cit.*, p.149.

¹¹⁹ Marc Gontard, *Le Roman postmoderne*, essai, 2003, p. 14.

¹²⁰ Susan Condé, *Op.cit.*, p. 147.

¹²¹ *Ibid.* p. 89.

paradigme de ce changement de nature ». ¹²² (pour une exposition du théorème de Gödel, voir glossaire). Le théorème de Gödel introduit la notion d'autoréférence que l'on retrouve dans les fractales. La notion d'immanence dont parle Lyotard est définie de cette façon par le Larousse : « En philosophie, existence des fins du sujet dans le sujet lui-même ; qualité d'une cause qui agit sur ce dont elle fait partie ». Cette notion d'immanence s'oppose à celle de transcendance qui était propre au modernisme, et qui pouvait se définir comme : « Existence des fins du sujet en dehors du sujet lui-même ; caractère d'une cause qui agit sur quelque chose qui est différent d'elle, qui lui est supérieur » ¹²³. On voit donc que la pensée postmoderne introduit l'autoréférence, l'autoréflexivité, ce qui la relie aux notions de complexité et de fractalité.

9. *Le chaos organisé*

Dans *La Condition postmoderne* J.F. Lyotard décrit la science postmoderne comme « recherche des instabilités » ¹²⁴. Le modernisme s'est appuyé sur le déterminisme, et était animé par la certitude que science et progrès avaient un parcours linéaire qui ne pouvait que faire progresser l'humanité et la mettait petit à petit à l'abri des imprévus et des accidents. Les théories postmodernes remettent en cause cette linéarité du progrès et développent les idées de chaos et d'accidents inévitables. Lyotard se pose la question suivante : « pouvons-nous aujourd'hui continuer à organiser la foule des événements qui nous viennent du monde, humain et non humain, en les plaçant sous l'idée d'une histoire universelle de l'humanité ? » ¹²⁵. Paul Virilio nous présente comme inévitable la confrontation permanente à l'accident en l'associant à la notion de hasard :

D'incidents en accidents, de catastrophes en cataclysmes, la vie quotidienne devient un kaléidoscope où nous affrontons sans cesse ce qui vient, ce qui survient inopinément, pour ainsi dire ex abrupto ... Dans le miroir brisé, il faut alors apprendre à discerner ce qui arrive, de plus en plus souvent, mais surtout de plus en plus rapidement, de manière intempestive voire simultanée. Devant cet état de fait d'une temporalité accélérée qui affecte les mœurs, l'Art aussi bien que la politique des nations, une urgence s'impose entre toutes : celle d'exposer l'accident du Temps. ¹²⁶

¹²² *Ibid.*, p. 90.

¹²³ Dictionnaire Larousse.

¹²⁴ J.F. Lyotard, *La Condition postmoderne*, Paris, les Éditions de Minuit, 1979, p. 88.

¹²⁵ J.F. Lyotard, *le Postmodernisme expliqué aux enfants*, pp.40-41.

¹²⁶ Paul Virilio, *Ce qui arrive*, Editions Galilée, Paris, 2002, p. 5.

Il ajoute : « C'est finalement là l'effet de ce point *oméga* atteint par l'humanité, un effet météorologique" qui reproduit celui du battement d'aile du papillon en Asie provoquant un ouragan en Europe – de la même manière que le phénomène El Niño bouleverse aujourd'hui le climat du globe ». ¹²⁷

Pourquoi associer le chaos à la notion de fractalité ? Le journaliste scientifique James Gleick écrit : « Dans l'histoire du chaos, Mandelbrot a suivi une trajectoire originale. Pourtant, l'image de la réalité qui se formait dans son esprit en 1960 perdit son caractère insolite pour acquérir un statut géométrique à part entière » ¹²⁸. Il est évident que Mandelbrot a joué un rôle essentiel dans l'étude des processus chaotiques au travers de la découverte des fractales. Les fractales sont associées à l'idée de chaos qui génère un certain ordre. Benoît Mandelbrot parle de « chaos homogène » ¹²⁹. En effet le chaos n'est pas synonyme d'absence d'ordre. Certes le chaos introduit une part de hasard, mais on sait que le hasard suit des lois probabilistes très rigoureuses. En fait, la notion de chaos dépend de l'échelle de temps à laquelle on observe les phénomènes et l'on revient ainsi à la notion de temps fractal. Une expérience aléatoire observée sur un petit nombre d'occurrences peut sembler avoir un comportement complètement chaotique. Par contre si l'on observe la répétition de la même expérience, réalisée un très grand nombre de fois, alors les résultats obtenus s'organisent selon des lois très précises. On sait bien que si l'on lance une pièce de monnaie parfaitement équilibrée une seule fois, il est absolument impossible de prévoir le résultat obtenu car il ne dépend que du hasard. Mais si l'on lance cette même pièce un millier de fois on constate que statistiquement on obtient à peu près autant de fois PILE que FACE. Et si l'on augmente encore le nombre de lancers la répartition entre les deux résultats est de plus en plus proche de l'égalité. Ce résultat, qui est une des bases du calcul des probabilités, montre que le hasard n'est donc pas si erratique que l'on pourrait le croire à première vue. A partir de ces remarques, comment pourrait-on qualifier la notion de chaos ? On pourrait dire que tout phénomène chaotique relève du hasard mais que néanmoins le chaos est régi par des lois puisqu'il peut être appréhendé d'un point de vue statistique, donc probabiliste.

On a vu précédemment qu'il existe plusieurs types de fractales. Il y a les fractales déterministes construites à l'aide d'un processus géométrique bien déterminé et les fractales

¹²⁷ *Ibid.*

¹²⁸ James Gleick, *La Théorie du chaos*, Paris, Flammarion, Champs sciences, 2008, p.129.

¹²⁹ Benoît Mandelbrot, *op.cit.*, p. 48.

non déterministes ou stochastiques¹³⁰ où l'on introduit plusieurs processus de reproduction, choisis de façon aléatoire. Les fractales aléatoires peuvent correspondre aussi à des éléments de la nature ou à des phénomènes socio-économiques. Dans le cas des fractales déterministes, lorsqu'elles sont construites à partir d'un processus géométrique itératif très simple, le résultat obtenu est facilement prévisible, comme par exemple dans le flocon de Von Koch. Mais il existe des fractales déterministes où le résultat final est difficile à prévoir, il s'agit de fractales construites en utilisant des fonctions itératives et dans ce cas les conditions initiales jouent un rôle important. Nous n'allons pas faire ici une démonstration mathématique détaillée, mais simplement résumer succinctement le phénomène : on choisit un nombre (une condition initiale) et on le transforme par une fonction numérique, puis on transforme le résultat obtenu par la même fonction numérique, et ainsi de suite. Assez souvent les résultats successifs obtenus sont assez chaotiques et ce chaos s'accroît lorsqu'on choisit au départ un nombre complexe (qui se représente par un point dans le plan). L'influence de la condition initiale est très importante et détermine le degré chaotique de l'image obtenue. On parle de sensibilité aux conditions initiales, avec des zones d'attraction et une sensibilité à ces conditions initiales à la frontière de ces zones d'attraction. Michael Field donne un exemple très concret de sensibilité aux conditions initiales d'un système chaotique :

La façon extrêmement sensible dont les systèmes chaotiques dépendent des conditions initiales peut avoir d'importantes conséquences dans notre vie quotidienne. Considérez par exemple la météorologie. [...] Si, comme le pensent de nombreux scientifiques, le temps est un système chaotique, il est alors impossible d'émettre des prédictions précises et détaillées à long terme. Il se peut en effet que l'extrême sensibilité aux conditions initiales interdise concrètement toute prédiction précise sur le temps qu'il fera dans cinq ou six jours. La complexité est sans conteste l'un des traits distinctifs de la météorologie. Ce fait est caractéristique d'une dynamique chaotique.¹³¹

On peut aussi dire qu'une fractale est la transformation récursive d'un objet par n copies de lui-même avec une échelle r (avec $r < 1$). On associe alors à l'objet fractal obtenu sa dimension fractale D qui est égale à $\frac{\ln(n)}{\ln(\frac{1}{r})}$ et qui caractérise la manière dont il évolue dans l'espace où il est représenté. On constate que plus D est grand, plus l'évolution de la forme est « chaotique ».

¹³⁰ Stochastique : se dit de processus qui ne sont soumis qu'au hasard et qui font l'objet d'une analyse statistique.

¹³¹ Michael Field, *op.cit.*, p.13.

Dans le cas des fractales stochastiques ou aléatoires, on introduit une ou plusieurs données aléatoires. Par exemple la courbe de Koch (fig. 89) est construite de la manière suivante : on part d'un segment, on construit un triangle équilatéral sur le tiers central et on répète indéfiniment le processus sur les nouveaux segments. Mais on peut construire cette courbe en utilisant soit un intervalle aléatoire (fig. 90) soit une orientation aléatoire (fig. 91), on obtient alors des figures à l'allure plus chaotique que celles obtenues pour les fractales déterministes. On remarque que pour générer des « rivages océaniques » à partir de lignes, on obtient de bons résultats avec D voisin de 1,2. Pour les surfaces, si l'on veut générer des « paysages montagneux » il faut choisir D voisin de 2,2. On remarque que plus D croît, plus la ligne ou la surface devient chaotique et irréaliste.

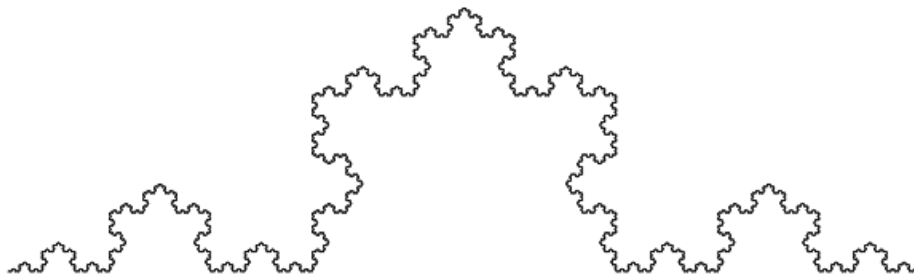


Fig. 89 : La courbe de Koch

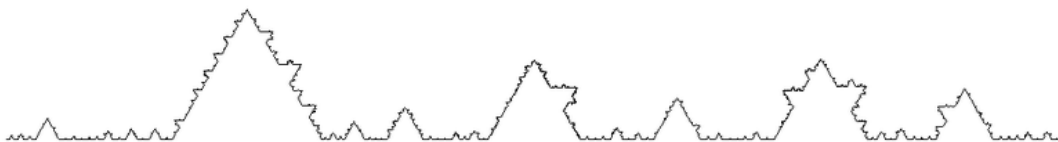


Fig. 90 : la courbe de Koch avec un intervalle aléatoire.

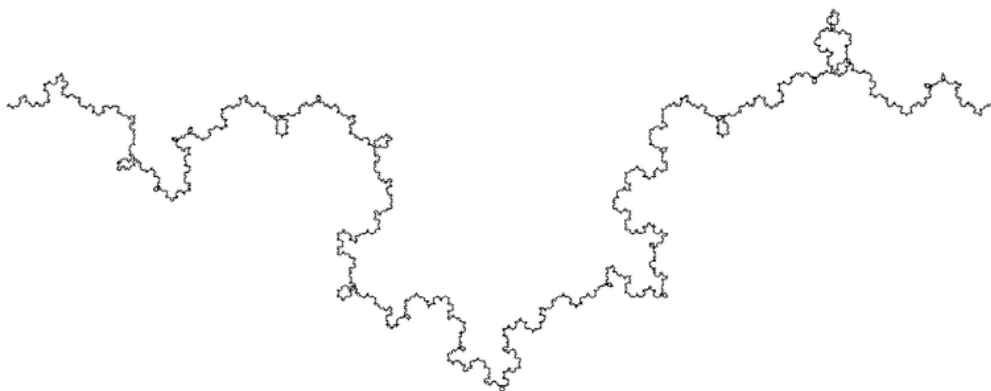


Fig. 91 : la courbe de Koch avec une orientation aléatoire.

Benoit Mandelbrot avait pressenti le lien entre les fractales et la théorie des catastrophes :

*L'articulation de molécules organiques dans les savons est gouvernée par un exposant de similitude. Et il se trouve que cet exposant est une dimension fractale. Si ce dernier exemple devait se généraliser, les fractales auraient un rapport direct avec un domaine particulièrement actif à ce jour, la théorie des phénomènes critiques.*¹³²

Le mathématicien René Thom présente sa « théorie des catastrophes » en 1972 dans son ouvrage *Stabilité structurelle et morphogénèse*. Pour Lyotard :

*Les travaux de René Thom [...] interrogent directement la notion de système stable, qui est présumé dans le déterminisme laplacien et même probabiliste. Thom établit le langage mathématique qui permet de décrire comment des discontinuités peuvent se produire formellement dans des phénomènes déterminés et donner lieu à des formes inattendues : ce langage constitue la théorie dite des catastrophes ».*¹³³

René Thom a développé la théorie des catastrophes en décrivant ces « phénomènes discontinus qui peuvent survenir spontanément à partir d'un milieu continu »¹³⁴. Il utilise un vocabulaire très imagé et poétique pour désigner certaines formes de « catastrophes possibles » : le pli, la fonce, la queue d'aronde, la vague, le poil, le papillon, le champignon. Salvador Dali lui rend hommage en 1983 en réalisant plusieurs toiles de sa série des catastrophes qui font allusion à la « queue d'aronde » (fig. 92).

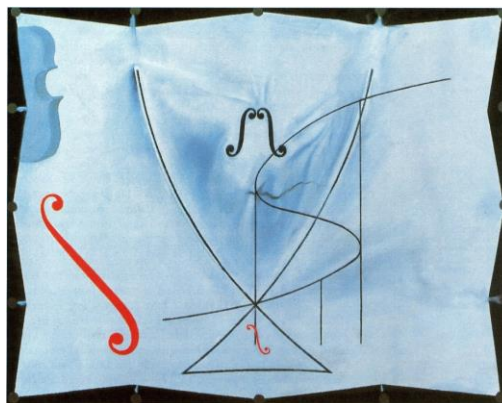


Fig. 92 : Salvador Dali, *La Queue d'Aronde-série des catastrophes*, 1983.

¹³² Benoît Mandelbrot, *op.cit.*, p.15.

¹³³ J.F. Lyotard, *La Condition postmoderne*, *op.cit.*, p. 95.

¹³⁴ René Thom, *Paraboles et catastrophes*, *op.cit.*

Michael Field, enseignant à l'université de Sydney, travaille sur la coexistence mathématique de la symétrie et du chaos. Il cherche à nous faire découvrir des images de « chaos symétrique » en réalisant des œuvres où la dimension aléatoire et chaotique est présente dans le processus de création (fig. 93). Il dit :

Si la symétrie joue depuis longtemps un rôle essentiel en mathématiques –comme d'ailleurs dans tous les modèles de l'Univers-, l'étude mathématique de la dynamique chaotique et son emploi dans la modélisation des phénomènes physique sont d'origine plus récente. [...] Que ce soit dans le langage quotidien ou dans celui des mathématiques la symétrie correspond à une idée de répétition. [...] Le chaos en revanche, signifie, "absence de forme"-le grand vide. [...] Ces dernières années, les scientifiques ont adopté ce mot pour décrire des phénomènes à la fois complexes et imprédictibles.[...] Or bien que complexes et imprédictibles ces phénomènes sont loin d'être dépourvus de forme ou de structure.¹³⁵

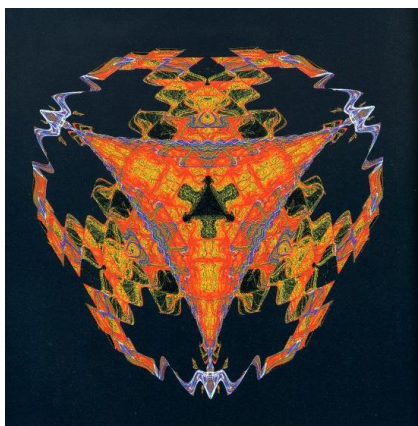


fig. 93 : Michael Field, *Chaos Sauvage*.

La place prise par l'ordre et le chaos devient très importante aussi bien dans le monde scientifique que dans le monde artistique.

En lisant le texte de Jean Baudrillard, *L'Effet Beaubourg, implosion et dissuasion*, j'ai eu l'idée de fractaliser une photographie du centre Beaubourg (fig. 94) pour traduire ce que disait J. Baudrillard :

Faites plier Beaubourg, Nouveau mot d'ordre révolutionnaire. Inutile de l'incendier, inutile de le contester. Allez-y ! C'est la meilleure façon de le détruire. Le succès de Beaubourg n'est plus un mystère : les gens y vont pour ça, ils se ruent sur cet édifice, dont la fragilité respire déjà la catastrophe, dans le seul but de le faire plier.¹³⁶

¹³⁵ Michael Field, *op.cit.*

¹³⁶ Jean Baudrillard, *op.cit.*, p.105.

Dans ce texte J. Baudrillard appelle de ses vœux l'implosion de centre Beaubourg qu'il voit comme l'hypermarché de l'art et qui, pour lui, est un « espace de dissuasion » en « pleine contradiction avec ses objectifs explicites ».¹³⁷



Fig. 94 : Denise Demaret, *L'Implosion de Beaubourg*, 2011, photomontage, 60 × 80 cm.

¹³⁷ *Ibid.*, p.

Conclusion

Les propos de Marguerite Neveux illustrent l'étude que nous venons de faire. Elle dit :

« A l'opposé des certitudes rigides et rassurantes, se trouve la règle avec sa transgression. La liberté des grands artistes consiste en effet à jouer avec la symétrie et ses brisures, avec l'attendu et sa déviance, avec la structure et son camouflage, pour mieux surprendre notre perception fascinée. »¹³⁸.

L'utilisation des mathématiques dans l'art, combinant rigueur, hasard et chaos peut donc être un catalyseur très fort pour la création artistique. On est passé d'une tentative de rationaliser le monde et son apparence avec des méthodes géométriques cartésiennes, à l'idée de décrire le comportement chaotique de l'évolution de l'univers. Le développement anarchique de nos grandes métropoles, les architectures démesurées, la mondialisation avec tous ses réseaux sociaux ou commerciaux donnent une image morcelée, chaotique, fractalisée de notre société. L'interprétation artistique de ce chaos est d'une extrême richesse pour les artistes, leur rôle pouvant être d'aider à la compréhension de la nouvelle place de l'homme au sein de ce monde protéiforme. Susan Condé voit dans cette perception fractale du monde, une perspective artistique :

Apparaît alors cette perspective artistique, une perspective fractale. Elle appartient à notre époque, à ces années à cheval sur la fin du vieux siècle et le début du nouveau millénaire, une vision qui propose des paradoxes plutôt que des affirmations. Cette perspective fait son apparition dans l'art aujourd'hui parce qu'elle correspond au paysage de cette époque. Les artistes ressentent ce lien et c'est lui qui les incite à créer de l'art fractal.¹³⁹

L'artiste fractal ne cherche pas à illustrer une théorie mathématique, il cherche seulement à intégrer ces nouvelles idées liées aux théories du chaos à sa création artistique. C'est pour lui un nouvel outil qui lui permet de traduire le mieux possible la complexité du monde. L'utilisation de la fractalité dans l'art est d'une richesse infinie, tant par la possibilité d'utiliser les techniques les plus variées, du dessin aux nouvelles technologies, que par le choix très diversifié des domaines de prédilection des artistes. Dans ce foisonnement de productions, une unité se dessine, c'est la volonté de traduire la complexité grandissante de notre époque. L'évolution inévitable vers la fractalité ne tourne pas définitivement le dos au

¹³⁸ Marguerite Neveux, *op.cit.*, pp. 146-147.

¹³⁹ Susan Condé, *op.cit.*, p.59.

cartésianisme. Au contraire, la dualité entre déterminisme et hasard, entre ordre et chaos, est une richesse incontournable pour l'artiste du XXI^e siècle. La recherche de l'ordre dans le désordre est devenue incontournable. L'introduction de la fractalité dans l'art est une sorte de renouveau après « le syndrome post-moderne de la mort de tout, surtout de la création »¹⁴⁰ comme le dit Susan Condé. L'utilisation de la fractalité en art est devenue inévitable si l'artiste veut appréhender au mieux la réalité de la complexité de nos sociétés. Elle ajoute :

Notre vision du monde se modifie avec l'évolution de nos idées qui cherchent à dépasser la rigidité des vieilles fondations platoniciennes et cartésiennes, celles qui reposent sur le sable des fondements mouvants du savoir. Le moment est à la remise en cause. L'ordre du passé n'a pas de place dans l'avenir. Le désordre est le seuil d'un nouvel ordre. Au crépuscule du matin, en cette fin de siècle, nous regardons les craquelures et les crevasses, la symétrie brisée des objets d'art qui parlent de la distance entre le connu et l'inconnu.¹⁴¹

Avec le développement des théories liées à la fractalité, la poésie s'est invitée dans le monde mathématique permettant à l'imaginaire de l'artiste de se développer autour des idées d'infini. Les structures de récurrence que l'on trouve dans l'autosimilarité et la mise en abyme réveillent des sensations de solitude face à l'infini, d'incertitude, d'attente d'un éternel retour. Le travail intitulé *Vertige*, que j'ai présenté page 53, résume toute cette posture de l'artiste, seul avec son imaginaire, qui explore des mondes multiples intérieurs ou extérieurs. Dans un jeu de miroir infini, l'artiste se contemple, il est à la fois créateur et spectateur, il se démultiplie, se dédouble, dans une image spéculaire imparfaite. Il est dans l'attente, dans la recherche. Dans son article *Multivers*, écrit pour l'encyclopédie Universalis 2011, Aurélien Barrau¹⁴² s'intéresse à l'existence d'univers multiples et parle de « multivers gigogne ». Ces théories qui ne peuvent être vérifiées à notre échelle humaine constituent un formidable terreau pour l'imaginaire de l'artiste, l'espace et le temps présentent des courbures, des instants critiques où il y a des bifurcations, des rencontres avec d'autres univers. La théorie des cordes a inspiré l'écrivain José Carlos Somoza dans son roman « *La Théorie des cordes* », où les personnages évoluent dans des espaces-temps parallèles. A propos de cette théorie Aurélien Barrau écrit :

Le développement de la théorie des cordes a connu plusieurs révolutions, dont la dernière constitue la découverte d'un " paysage " de lois : lorsque l'on tient compte des

¹⁴⁰ *Ibid.*, p.158.

¹⁴¹ *Ibid.*, p.181.

¹⁴² Aurélien Barrau est enseignant chercheur à l'université de Grenoble I et au laboratoire de physique subatomique et de cosmologie de Grenoble.

manières de recourber sur elles-mêmes les dimensions supplémentaires et des flux magnétiques généralisés, la théorie conduit à une quasi-infinité de lois physiques différentes ! L'inflation crée des mondes-bulles et la théorie des cordes les peuple de lois variées et imprévues.¹⁴³

Le vertige s'installe dans le monde onirique de l'artiste. La fractalité du monde, de l'univers, le chaos environnemental, permettent à l'artiste de développer sa créativité. Il n'y a plus de certitude absolue, de vérité universelle, le monde est multiple, fragmenté, le rêve peut parcourir des univers chaotiques avec des bifurcations multiples. L'artiste peut s'égarer dans des labyrinthes imaginaires sans fin, passer d'un monde à l'autre. Tout est permis à l'esprit, il peut errer à sa guise, découvrir des univers parallèles, voyager dans des infra-mondes, passer de l'infiniment petit à l'infiniment grand. Susan Condé dit :

Si vous me posez la question de la signification artistique de la théorie du chaos, je me dois de préfacier ma réponse avec cette explication concernant le déplacement du chaos vers le contexte de la fractalité. Pour moi, l'importance du mot réside en sa réfutation de l'idée de la perfection. Elle réside dans le fait qu'elle refuse toute prévision ou certitude parfaite, qu'elle épouse l'incertitude et le désordre. Elle réside en sa capacité de placer le chaotique et l'irrévérent au cœur des questions esthétiques et des préoccupations artistiques.¹⁴⁴

Comme le disent les artistes du mouvement « Les Fractalistes-Art et complexité » dans leur manifeste : « Le paradigme de la complexité chaotique-fractale constitue la dynamique privilégiée de la recherche contemporaine, des pratiques et du savoir. Aujourd'hui nous nous engageons dans un renouveau radical du modèle de la création ». Le chaos et la fractalité deviennent donc des éléments incontournables des questions esthétiques. L'imaginaire de l'artiste s'enrichit du désordre, de la surabondance d'images, de l'instabilité. La vie, l'espace, le temps se morcellent en une multitude d'éléments qui constituent un kaléidoscope géant où l'artiste puise son inspiration, son œuvre ne peut donc que refléter cette complexité, la création ne peut que devenir fractale.

¹⁴³ *Ibid.*

¹⁴⁴ Susan Condé, *op.cit.*, p.159.

Manifeste du Fractaliste

1- C'est en fonction de propositions communes que nous nous regroupons. Ce collectif affirme avec ses œuvres le paradigme de la complexité chaotique-fractale.

2 - La problématique d'Art et Complexité est d'abord et avant tout une organisation visuelle, le potentiel à une construction sans limite, dans un processus sans fin.

3 - Notre activité fractaliste se manifeste au travers d'univers où abondent les formes aléatoires et proliférantes.

4 - Nous abandonnons la rationalité euclidienne au profit de processus imprévus et non programmés.

5 - La vision labyrinthique et son parcours aléatoire se proposent de reconstruire l'imaginaire et d'ouvrir une perspective nouvelle.

6 - Dans la spirale ordre-désordre, l'œuvre est l'émergence éphémère d'une hybridation : un passage.

7 - L'activité fractaliste, de la peinture aux nouvelles technologies, cristallise un champ où se matérialisent : réseaux, jeux d'échelles, prolifération, autosimilarité, hybridation, récursivité, structures dissipatives, « effet papillon », attracteurs étranges, infinitisation.

8 - Toutes nos œuvres sont maximalistes ; c'est par l'excès d'informations que l'on accède au vertige fractal.

9 - Le paradigme de la complexité chaotique-fractale constitue la dynamique privilégiée de la recherche contemporaine, des pratiques et du savoir.

10 - Aujourd'hui, nous nous engageons dans un renouveau radical du modèle de la création.

Groupe « Les Fractalistes - Art et Complexité »

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	7
-----------------------	---

INTRODUCTION	9
---------------------------	---

1) Les mathématiques comme sujet artistique	9
2) Vers les suites mathématiques	9
3) De l'art sériel vers les suites mathématiques dans l'art.....	10
4) Comment les suites mathématiques s'imposent-elles comme une composante de l'art contemporain ?.....	11
5) Choix du corpus et analyse plastique	11
6) Mouvements artistiques.....	14
7) Enjeux contemporains et perspectives.....	14

PREMIERE PARTIE :

DE LA LISTE A LA SUITE MATHEMATIQUE	17
--	----

I. Listes, suites, séries	17
--	----

1) Listes dans le cas général.....	17
2) Liste, suites et séries en mathématiques	18
1. Listes	19
2. Suites mathématiques.....	19
a. Suites arithmétiques	20
b. Suites géométriques.....	21
c. Suites périodiques	21
d. Suite de Fibonacci	21
e. Suite de Syracuse	22
3) Les carrés magiques.....	22
4) Analyse combinatoire et dénombrement	24
5) Fini, dénombrable, infini	28

II. De l'art sériel à la suite mathématique	29
1) L'artiste et l'art sériel, qu'apporte la série à l'artiste ?	29
2) Quelle analogie peut-on faire entre l'art sériel et la présence de suites mathématiques dans des œuvres d'art ?	30
3) Mel Bochner et « l'attitude sérielle »	33
4) La sérialité dans la littérature.....	36
III. Suites et séries mathématiques dans l'art	37
1) Classement de quelques artistes selon le type de suites qu'ils ont utilisé	37
2) La place des suites mathématiques dans les mouvements artistiques proches des mathématiques	43
DEUXIÈME PARTIE : ANALYSE PLASTIQUE	45
I. Analyse d'œuvres	45
1) Suites particulières	45
1. <u>La suite de Fibonacci</u>	46
a. Mario Merz.....	46
b. Donald Judd.....	57
c. Richard Long.....	60
d. Charles Bézie.....	63
e. Philippe Leblanc.....	73
f. Ivan Sozenko	78
g. Analyse du travail personnel sur la suite de Fibonacci	79
2. <u>La suite de Syracuse</u>	90
Olga Kisseleva	90
3. <u>Les suites de Dudley Langford</u>	93
Gerhard Hotter	93
2) Suites arithmétiques et géométriques	96
a. Josef Albers	97
b. Gerhard Richter	101

c.	Analyse d'un travail personnel.....	109
d.	Jasper Johns.....	110
e.	Dan Flavin.....	112
f.	Carl André.....	115
g.	Daniel Buren.....	117
h.	Bridget Riley.....	119
i.	Bernard Frize.....	121
j.	Philippe Decrauzat.....	122
k.	Donald Judd.....	125
l.	Théo Van Doesburg.....	127
m.	Richard-Paul Lohse.....	133
n.	Côme Mosta-Heirt.....	136
o.	Claude Viallat.....	137
p.	Niele Toroni.....	139
3)	Suites aléatoires.....	141
a.	François Morellet.....	141
b.	Gerhard Richter.....	143
c.	Robert Filliou.....	151
d.	Aurélie Nemours.....	153
e.	Vera Molnar.....	156
4)	Autres suites de nombres.....	157
a.	François Morellet.....	157
b.	Anatoly Fomenko.....	161
c.	John Sims.....	165
d.	Arlène Stamp.....	167
e.	Gerhard Hotter.....	170
f.	Michel Tombroff.....	174
g.	Esther Ferrer.....	177
h.	Mel Bochner.....	183
i.	Hanne Darboven.....	187

j.	Roman Opalka.....	190
k.	Bernar Venet	192
l.	André Cadere.....	196
5)	Suites et art fractal	200
a.	Mel Bochner	201
b.	Jérémie Brunet.....	202
6)	Dénombrement et analyse combinatoire	203
a.	Sol LeWitt	203
b.	Manfred Mohr	211
c.	Victor Vasarely	213
d.	Auguste Herbin	216
e.	Albert Ayme.....	220
7)	Carrés magiques	224
a.	Albert Ayme.....	224
b.	Richard-Paul Lohse	230
c.	Travail personnel sur les carrés magiques.....	232
TROISIÈME PARTIE : ENJEUX ET PERPECTIVES		235
I. Bilan de l’analyse plastique		235
II. Exposition et conférence		240
III. Création collective		241
IV. Transdisciplinarité Art et mathématiques, de la recherche mathématique à la création artistique		243

CONCLUSION	249
BIBLIOGRAPHIE	253
ICONOGRAPHIE	259
ANNEXES	269
ANNEXE A : Manifeste de l'Art Concret	269
ANNEXE B : Entretien avec Charles Bézie le 12 mai 2016	271
ANNEXE C : Artistes du Centre Pompidou dont les œuvres ont un lien avec les mathématiques	275
ANNEXE D : Extrait du mémoire de Master 2 de Denise Demaret soutenu en juin 2011	281
ANNEXE E : Manifeste du fractaliste	323
TABLE DES MATIÈRES DÉTAILLÉE	325