Université de Montréal

# Narration et mathématiques: l'utilisation des graphes au cinéma et dans la bande dessinée

Par Félix Lambert

Département d'histoire de l'art et d'études cinématographiques, Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la Faculté des arts et des sciences en vue de l'obtention du grade de maître en études cinématographiques

Novembre, 2014

**Résumé**

Il est possible de modéliser la trame temporelle d'une histoire à l'aide de courbes paramétrées et la juxtaposition de ces différentes courbes permet la construction de graphes. Ce modèle peut servir à la fois à comprendre certaines histoires et à explorer de nouvelles narrations possibles basées sur ces graphes. Dans ce mémoire, nous présentons ce modèle de pair avec les notions mathématiques sur lesquelles il se base. Finalement, nous explorons des différentes narrations possibles qui apparaissent lorsque nous considérons ces graphes sur différentes surfaces.

**Synopsis**

It is possible to construct a model for time with parametric curves and joining them together leads to the construction of graphs. This model can be used to understand the structure of a story or to explore new narrative possibilities based on these graphs. In this work, we present this model as well as the mathematical notions on which it is based. Finally, we explore various possible narrative structures that appear when we embed these graphs on different surfaces.

**Remerciements:**

À la famille, aux amis, aux collègues et à Mario Bojórguez pour m’avoir poussé à écrire sur le sujet.

# Table des matières

**Introduction**

Les approches interdisciplinaires, malgré les nombreuses difficultés qu'impose la double migration d'un vocabulaire spécialisé et qui résulte, inévitablement, de méthodologies qui diffèrent autant par leurs formes que par leurs objectifs, possèdent l'avantage de créer un lieu commun de discussion à partir duquel de nouvelles avenues peuvent être explorées. Les arts visuels et les mathématiques ont souvent profité de ces rapprochements qui ont su tisser des liens qui semblent désormais naturels tant leur mariage s'est avéré profitable. L'étude de la perspective vient couronner une telle approche. L'influence de ces rapprochements proposés à la Renaissance -entre le modèle mathématique de la perspective et le modèle issu de la théorie de l'art- sont à voir autant dans les peintures de l'époque que dans la création des environnements virtuels de nombreux films, jeux vidéo et autres dispositifs immersifs. Or, ces rapprochements ne se limitent pas simplement à la représentation de l'espace. Par exemple, la notion de symétrie, très riche dans l'art visuel non figuratif, est sujet d'étude dans plusieurs branches des mathématiques dont la géométrie et la théorie des groupes sont les chefs de file. Ces points de rencontre sont traités principalement du point de vue de la forme et de la nature de l'image, par conséquent la narratarologie s'en retrouve quelque peu exclue. Dans ce mémoire, nous proposons une perspective commune entre les mathématiques et la narratologie, ce que nous pourrions nommée une narratologie mathématique. L'objet de cette recherche se restreint aux histoires en images, principalement à celles de la bande dessinée. Nous démontrons dans ce travail comment divers résultats issus des mathématiques permettent l'analyse de certaines structures narratives et, surtout, ouvrent la voie vers un grand nombre d'explorations. Par conséquent, le but de cette recherche est double. En premier lieu, il nous proposons un modèle d'analyse et, en second lieu, à partir de ce modèle nous proposons de nouvelles narrations. Nous divisons ce mémoire en quatre chapitres. Le premier présente les principaux concepts qui seront utilisé dans les chapitres suivants. Nous y construisons également le modèle qui sera utilisé dans les trois autres chapitres. Nous conservons volontairement un point de vue abstrait dans ce premier chapitre car la présentation détaillée et appuyée d'exemples s'étale sur la suite du mémoire. Les chapitres deux et trois traitent principalement des histoires dont la structure reste relativement simple. Le chapitre trois, en introduisant les histoires cycliques, mène vers l'analyse de la complexité d'une histoire par l'analyse de certaines caractéristiques propres à ce support. L'analyse des histoires sur différents supports justifie l'analyse du point de vue des mathématiques. Le dernier chapitre présente le potentiel inexploré des narrations basées sur notre modèle en lien avec l'utilisation de différents supports.

Nous ne prétendons pas présenter la liste complète des différentes expérimentations reliées aux aspects traités dans chaque chapitre. La forme de base de l'argumentation de ce mémoire est constructiviste, par conséquent les exemples mentionnés servent en premier lieu à démontrer qu'il est possible d'appliquer le modèle d'analyse et en second lieu à démontrer qu'il est possible de construire de nouvelles narrations basées sur ces observations. Une liste exhaustive de ces différentes expérimentations s'avèrerait fort utile pour de futures recherches, mais tel n'est pas le cas pour le présent travail.

## Chapitre 1 : Les fondements théoriques

Tel que mentionné dans l'introduction, cette recherche vise deux objectifs. Le premier est de développer un nouvel instrument d'analyse narratologique appliqué principalement aux domaines du cinéma et de la bande dessinée. Le rapport particulier qu'entretient la bande dessinée avec la notion de surface place ce médium au centre de cette recherche. La surface du dessin, pour des raisons techniques, existe sous une multitude de formes qui motivent l'exploration faite dans ce mémoire. L'analyse peut évidemment s'élargir pour s'appliquer au domaine de l'étude littéraire, mais il n'en sera pas question directement ici puisque nous voulons principalement étudier le rapport entre l'image figurative et sa surface de représentation. Pour cette raison, nous puiserons principalement nos exemples dans les domaines du cinéma et de la bande dessinée. Dans le but de démontrer l'utilité de notre méthode d'analyse, nous analyserons la trame temporelle de trois films : *Triangle* (2009) de Christopher Smith, *Primer* (2004) de Shane Carruth et *Looper* (2012) de Rian Johnson. Dans le cas de la bande dessinée, nous étudierons principalement des planches de Chris Ware ainsi que le travail de L'Ouvroir de Bande Dessinée Potentielle, l'OuBapo. Le collectif oubapien travaille principalement en Europe et une documentation plus complète sur son équivalent en Amérique du Nord se fait encore attendre, cela explique que les exemples seront essentiellement européens. Ces œuvres que nous analyserons ne couvrent malheureusement pas la totalité de ce qui peut être traité du point de vue de l'analyse, ce qui explique la deuxième intention de cette recherche, celle d'une exploration des potentialités narratives.

En plus de développer un nouvel outil d'analyse, nous proposerons des narrations basées sur les différentes observations qui seront faites dans l'élaboration de la théorie et de la présentation d'un modèle. Conformément à la définition du mot, le modèle sert autant à comprendre des narrations existantes qu'à prédire des narrations potentielles[1] (Herman, p. 452). Dans notre cas, la compréhension

[1] Herman discute cette définition qu'il trouve dans l'*Oxford English Dictionary*.

est celle des narrations que nous mentionnerons dans le texte et les prévisions sont les nouvelles narrations qui seront déterminées comme possibles selon ce modèle. Ces exemples pourraient être plus nombreux, mais nous nous limiterons à un petit nombre qui se démarquent par leur pertinence. Ils se veulent de nouvelles explorations dans le domaine des arts.

Dans le but de se procurer des exemples pertinents, nous avons fait des recherches dans un grand nombre d'ouvrages sur la bande dessinée, les comics, les comix et les romans graphiques. Nous avons élargi notre recherche dans le répertoire de la bande dessinée *underground* en espérant que son caractère plus expérimental amènerait à davantage d'explorations avec le médium. Nous y avons principalement décelé des expérimentations au niveau du style graphique et du contenu du récit. Des sujets tels que la sexualité ou la politique prennent généralement le premier plan narratif et des styles graphiques moins aisément lisibles ornementent souvent les pages. Or, nous ne nous intéressons qu'indirectement à ces composantes dans le cadre de ce mémoire.

Nous avons survolé une panoplie d'ouvrages théoriques et historiques sur la bande dessinée, en particulier les ouvrages de Thierry Groensteen et de Benoît Peeters. Nous avons également fréquemment consulté des sites Internet ainsi que des ouvrages encyclopédiques tels que *1001 Bandes Dessinées qu'il faut avoir lu dans sa vie* et *The World Encyclopedia of Comics* édité par Maurice Horn. Nous avons effectué un second volet de la recherche de bandes dessinées dans des collections privées et dans des magasins spécialisés à Montréal, Toronto, Portland et San Francisco.

La méthode d'analyse et de production narrative que nous explorerons dans ce texte se prête particulièrement bien au format de la bande dessinée. Le cinéma peut par bifurcation présenter des caractéristiques que cette méthode rend aisément compréhensibles. Cependant, il ne constitue pas la forme première du support dont il sera question. Ces résultats demeurent pertinents pour les études cinématographiques puisqu'ils présentent quelques limites du cinéma quant à la forme des différentes narrations qui s'adaptent bien à ce médium. Il en va de même avec la littérature. L'abstraction qu'il est possible d'atteindre en littérature permet bien de mener des explorations, mais seulement à l'intérieur de certaines limites. Nous aborderons brièvement ce sujet dans de ce texte.

Pour le cinéma, les films de science-fiction se rapprochent davantage des narrations rendues possibles par la méthode que nous proposons dans ce texte. Cela explique pourquoi le corpus étudié appartient principalement à la science-fiction et que nous délaissons quelque peu les autres genres. Un peu comme dans le cas de la bande dessinée underground, le film expérimental se distingue souvent de par le style graphique ou son contenu thématique, mais rarement sous une forme qui nous intéresse ici. Quelques exemples pertinents viendront de l'époque de la naissance du cinéma et des jouets d'optiques.

Finalement, afin de donner de l'expansion aux définitions et de trouver de nouvelles idées, autant pour la présente recherche que de possibles travaux ultérieurs, nous avons exploré différents domaines des mathématiques. La visite des domaines de la géométrie, de la théorie des graphes et de la topologie a été particulièrement enrichissante. Ces domaines ont servi autant comme exploration artistique que pour bien souder ensemble l'analyse qui sera faite dans ce texte.

La bande dessinée étant le format premier des expérimentations de cette recherche, il va de soi que le choix d'une définition est primordial. Or, il se trouve que dans notre cas la majorité des définitions s'appliquent difficilement. Cela découle directement du fait que ce mémoire a pour but d'apporter une exploration du médium afin d'en repousser les limites. Nous prendrons tout de même le soin de présenter brièvement quelques définitions présentes dans le milieu de pair avec le débat qui en découle et les différents problèmes de son application dans le cas présent.

La présence de plusieurs formes distinctes du médium a fait naître différentes appellations. Il est commun de trouver les formules art séquentiel, bande dessinée, roman graphique, *comics* et *comix*. La dénomination art séquentiel vient principalement du travail de Will Eisner *Comics & Sequential Art* et

Scott McCloud la réutilise par la suite dans son ouvrage *Understanding comics*. La définition offerte par l'auteur se veut un concept global et c'est une particularité que nous voulons conserver. Eisner affirme que «Graphic Narrative may be defined as the employment of words and visual images in an intelligent and disciplined sequence to explain an idea or tell a story» (Eisner 2008, p. XI). Avec une définition un peu plus large qui permet d'inclure les suites d'images qui ne contiennent pas de mot, McCloud propose pour le mot comics la définition suivante : « Juxtaposed pictorial and other images in deliberate sequence, intended to convey information and/or to produce an aesthetic reponse in the viewer » (McCloud 1993, p. 9*).* L'avantage de restreindre la définition en ces composantes générales est de pouvoir inclure une série d'objets présents dans l'histoire de l'art qui partagent certaines caractéristiques communes avec la bande dessinée. Scott McCloud inclut par exemple les peintures rupestres, la tapisserie de Bayeux et les codex précolombiens dans ce qui est conçu généralement comme bande dessinée (1993, p. 10-13). L'utilisation d'un terme moins restrictif mène également à s'interroger sur les limites de cette définition. Nous pourrions par exemple définir le cinéma et les jouets optiques par l'art séquentiel. Dans notre cas, cela ne cause pas problème pour deux principales raisons : le modèle proposé dans ce travail peut s'appliquer aux histoires écrites pour les films et l'exploration des surfaces du dernier chapitre démontre bien que l'inclusion de ces explorations dans le cinéma ou le jeu vidéo peut s'avérer intéressante. Le but de cette recherche étant en partie d'explorer les différentes possibilités du médium, une définition plus large nous est utile et pour cette raison nous garderons les composantes essentielles de celle-ci. Nous rejoignons pleinement McCloud dans son affirmation « The best definition will be, I think, the most expansive » (1993, p. 199).

L'utilisation du terme *comics* a pris racine dans les publications de journaux et elle s'est épanouie principalement aux États-Unis au 20$^{ième}$ siècle. Le terme témoigne de la nature souvent humoristique des bandes dessinées de l'époque. Comme le démontre Gubern, cette popularité grandissante et l'évolution des *comics* de l'époque découlent en partie de la guerre des journaux américains, notamment de *The*

*World* appartenant à Joseph Pulitzer et *The Journal* propriété de William Randolph Hearst (1972, p. 13, 24 et 36). Ils favorisent en leurs débuts le format simple de quelques cases et plusieurs grands personnages sont issus de cette tradition. Les *Kaztenjammer Kids* de Rudolphe Dirks et Harold Knerr inspirés de *Max und Moritz* de Wilheim Busch, ainsi que *The Yellow Kid* par Richard Outcault sont des exemples de personnages qui ont vu le jour à cette époque. Les *comics* aux thématiques moins humoristiques se sont ensuite développés et du fantastique à l'aventure une grande variété de thèmes y a pris de l'expansion. Nous retrouvons quelques exemples qui explorèrent un peu plus le médium tels que *Krazy Kat* de George Herriman de 1913 à 1944, les curieux *Upside-downs* de Vermeek qui devaient être lus en tournant la feuille de 180° ainsi que l'œuvre de Winsor McCay *Little Nemo in Slumberland*. La grande distribution des *comics* dans les journaux est une composante qui influence Kunzel dans sa définition du mot en insérant comme composante essentielle la présence sur un support imprimé destiné à une distribution de masse (Groensteen 1999, p. 16). De manière similaire cette période historique est déterminante pour la définition de Blackbeards qui inclut dans la définition la publication régulière d'un personnage stable par épisode (Groensteen 1999, p. 16). Tout comme Groensteen qui démontre l'insuffisance de cette définition par une série de contre exemples (1999, p. 19-20), nous ne souscrirons pas à cette perspective. Effectivement, la définition de Kunzle empêche d'inclure une bonne part de la bande dessinée *underground* et celle produite sur support numérique. La définition de Blackbeards exclue une panoplie d'œuvres destinées à ne pas avoir de suite.

Dans cette tradition se retrouvent habituellement les *comics* américains de suspense, horreur, aventure de guerre et science-fiction qui se multiplièrent dans les années 40-50. Les comics américains ont dû reformuler leur contenu avec la parution en 1954 de *The Seduction of the Innocent* du docteur Frederic Wertham qui joua un rôle majeur dans l'imposition de la censure via un comité qui portait le nom de *The Comics Code Authority* (Sabin 1996, p. 68). Le format des comics évolua au courant de la seconde moitié du 20$^{ième}$ siècle pour donner toute une palette d'œuvres qui couvre la majorité des nuances que nous pourrions faire entre comics et nouvelle graphique. En réponse à la censure et de concert avec la libération sexuelle, une forme particulière de bande dessinée underground a vu le jour. Certains auteurs tels qu'Estren ou Sabin s'y réfèrent en tant que *comix*[2]. Ils contiennent souvent des styles graphiques assez variés, parfois *« delibarately ugly »* comme le souligne Douglas Wolk (2007, p. 40), et proposent des thèmes sur la politique, les drogues et la sexualité qui sont généralement exclus par la censure. La grande variété des formats des *comix* résulte quant à elle à la nature souvent indépendante des publications.

L'appellation bande dessinée est également largement utilisée dans les essais francophones. Une approche intéressante est celle de Thierry Groensteen et Benoît Peeters qui définissent la bande dessinée de pair avec son invention qu'ils attribuent à Rodolphe Töpffer au milieu du 19[ième] siècle (Peeters 1994, p.19). Ils attribuent cette invention à la coprésence de plusieurs éléments généralement présents dans le médium ainsi qu'à une réflexion propre à celui-ci par l'auteur. En effet, Töpffer publia un traité de physiognomonie dans lequel il explore le style graphique des expressions faciales de personnages[3].

L'utilisation de la désignation de roman graphique est quant à elle assez récente et imputable à la popularité grandissante de bandes dessinées de plus grande envergure et abordant des thèmes tels que la politique, l'histoire, le cheminement personnel et des thèmes considérés comme plus matures (Sabin 1996, p.8). Le premier livre à avoir porté l'appellation *graphic novel* sur sa couverture est le travail de Will Eisener *A Contract With God* paru en 1978 et traite de la crise d'un juif durant la Grande Dépression (Van Lente et Dunlavey, p. 171). Comme le démontre Devid A. Beronä dans son ouvrage sur le roman graphique produit avant 1950, ce format n'est pas une nouveauté, notamment en Allemagne. La France a également produit de nombreux exemples d'œuvres parfois humoristiques qui abordent des thèmes complexes.

[2] Voir dans les ouvrages de Roger Sabin (*Comix & Graphic Novels: A Histor of Comic Art*. New York: Phaidon Press, 1996) et de Mark James Estren (*A History of Underground Comics.* Berkeley: Ronin Publishing, 1993).

[3] Une publication de cet essai est disponible de dans le livre de Thierry Groensteen et Benoît Peeters (*Töpffer : L'Invention de la Bande Dessinée*. Paris: Hermann, Éditeurs des Sciences et des Arts, 1994).

*Histoire pittoresque, dramatique et caricaturale de la Sainte Russie* (1851) par Gustave Doré en est un bon exemple. Or, il reste que ce sont principalement des œuvres récentes qui ont popularisé la forme du roman graphique. Il y a dans cette liste le fameux *Maus* (1991) de Art Spiegelman et gagnant d'un prix Pulitzer, *Persépolis* de Marjane Satrapi, *From Hell* d'Alan Moore et *Jimmy Corrigan, the Smartest Kid on Earth* de Chris Ware. Ces œuvres sont généralement plus longues que le classique format belge de 60 pages qui s'imposa en Europe, de plus elles possèdent généralement un style graphique propre à l'auteur et parfois même à l'œuvre en particulier.

Comme nous pouvons le constater, la bande dessinée présente historiquement plusieurs formes et courants et pour cette raison il existe différentes terminologies. Ne voulant pas exclure de notre analyse les différentes acceptations présentes dans la littérature sur le sujet nous en reviendrons à une définition plus générale que nous offre le terme «art séquentiel» de Will Eisner et Scott McCloud. Nous adhérons au point de vue de Douglas Wolk qui souligne que la précision absolue d'une définition peut souvent exclure inutilement des exemples pertinents (2007, p. 17). Nous nous fions en partie à l'intuition du lecteur pour avoir une certaine connaissance des éléments qui définissent la bande dessinée ainsi qu'une certaine capacité d'adaptation quant aux nouveaux exemples que nous apporterons.

Afin de bien construire le modèle théorique que nous utiliserons dans ce mémoire, il nous faut nous appuyer sur diverses disciplines. Nous faisons ici une généralisation de ce qu'est ce modèle dont nous préciserons les détails au courant de cette recherche en nous aidant de plusieurs exemples.

Notre premier concept vient des études littéraires. Nous faisons usage du temps de l'histoire tel que défini par Genette et Müller. Ce temps de l'histoire, ce que Müller appelle *erzählte Zeit,* est la succession présupposée des évènements dans l'univers diégétique (Genette, p. 77). Il se distingue principalement du temps du récit qui lui constitue l'ordre dans lequel les évènements sont relatés, donc présentés au lecteur. La réorganisation temporelle des évènements constitue un outil important et fort utile à la narration, mais dans le cadre de cette recherche nous travaillons uniquement avec le temps de l'histoire. Nous pourrions fort bien modifier ce modèle afin d'inclure le temps du récit, mais cela nous entraînerait dans de nombreuses complications que nous choisissons d'éviter dans cette recherche. Afin de comprendre la complexité des narrations qu'il est possible de construire en se restreignant uniquement au temps de l'histoire, nous avons décidé d'exclure le découpage et les permutations des segments d'histoire. Par conséquent, nous excluons le temps du récit. Donc, toute histoire considérée dans ce texte l'est du point de vue du temps de l'histoire dans la perspective de Genette.

Une ligne du temps peut aisément servir à représenter ce temps de l'histoire. Pour ce faire, nous utilisons ici un concept issu des mathématiques et souvent utilisé en physique, la courbe paramétrée. Nous débuterons par une utilisation de cette courbe en deux dimensions, soit dans le plan cartésien, et une généralisation pour un plus grand nombre de dimensions sera ensuite possible. Une courbe paramétrée est une courbe dont les coordonnées sur l'axe des abscisses et l'axe des ordonnées dépendent tous deux d'un unique paramètre. Nous pouvons représenter la courbe paramétrée mathématiquement à l'aide d'équations de la forme $C(t) = (f(t), g(t))$ (Pressley, p. 2). C'est-à-dire que des fonctions $f$ et $g$ qui dépendent du paramètre $t$, le temps, peuvent définir ses coordonnées. Un exemple trivial de courbe paramétrée est $C(t) = (t, 0)$. Cette courbe n'est en fait rien d'autre que l'axe des abscisses du plan cartésien dans lequel l'avancement en temps, ou de manière équivalente vers la droite, se fait proportionnellement au temps.

L'utilisation de la courbe paramétrée peut sembler arbitrairement abstraite, mais elle implique une multitude d'avantages non négligeables. Premièrement, elle permet de fixer à l'aide du paramètre $t$ le temps de l'histoire que nous considérons. Évidemment, le temps diégétique de l'histoire commence habituellement avant le récit et continue également après le récit. Les récits démiurges ou apocalyptiques peuvent faire exception, mais en général il y a conception que le monde existait avant le début du récit et qu'il continuera d'exister après celui-ci. Nous pouvons à l'aide du paramètre $t$ définir théoriquement le domaine temporel sur lequel l'histoire prend place. Deuxièmement, la courbe paramétrée se généralise en trois dimensions. D'autres avantages importants doivent être précisés, mais nous nous devons avant de présenter d'autres apports théoriques.

Dans notre modèle, la courbe paramétrée est le support de l'histoire, c'est-à-dire que nous insérons dans celle-ci les moments de l'histoire que nous voulons dévoiler. Autrement dit, les cases de l'histoire se présentent sur la courbe paramétrée. En considérant les différentes caractéristiques géométriques de cette courbe nous pouvons ajouter énormément à la valeur sémantique de l'histoire. La forme géométrique de l'histoire, ou de la courbe paramétrée sur laquelle elle se présente, peut devenir un outil pour l'artiste et conséquemment un outil d'analyse. Le paramètre $t$ peut être soit suivi avec précision ou servir simplement pour construire une courbe paramétrée ayant des caractéristiques voulues.

Dans *Système de la Bande Dessinée*, Thierry Groensteen apporte des nuances qu'il vaut la peine d'examiner. Un point que l'auteur considère comme particulier à la bande dessinée est la solidarité iconique, c'est-à-dire la double caractéristique des cases d'être à la fois graphiquement séparées mais sémantiquement reliées de par leur coprésence sur le support (Groensteen 1999, p. 21). Il mentionne également le terme *spatio-topie*, réunissant l'analyse de l'espace et du lieu. Il ajoute que ce néologisme aurait pu être évité avec la simple utilisation du mot géométrie (1999, p. 26). Puisque nous apporterons des nuances géométriques qui n'entrent pas directement avec les catégories de lieu ou d'espace, par exemple la topologie ou les pavages, nous utiliserons le terme *spatio-topie* avec parcimonie. Nous conservons aussi des idées reprises par Groensteen, celle de l'*hypercradre* apportée par Benoît Peeters (1999, p. 38) et celle de *multicadre* apportée par Henri Van Lier (1999, p. 31). Le *multicadre*, ou la forme de l'ensemble des vignettes, sera revu dans notre section sur le cadre et sera directement mis en relation avec l' *hypercradre* qui est la forme de la planche. Nous nous intéressons principalement à la forme de la courbe paramétrée, non pas simplement à celles des vignettes. En partant de la vignette, Groensteen définit trois éléments importants pour la *spatio-topie*; la forme, la superficie et le lieu (1999, p. 36). Ces trois caractéristiques sont les éléments qui définissent les vignettes dans leur rapport au multicadre. Nos considérations seront principalement portées, comme vu précédemment, sur le lieu car nous analysons le positionnement des courbes paramétrées et des graphes sur différentes surfaces. Le positionnement peut créer un effet global, ou contenir des informations contenues dans les précisions sur le lieu de son positionnement, par exemple en se plaçant sur le plan cartésien. Nous ne discuterons pas beaucoup de la notion de superficie même si elle fait parfois partie des grands problèmes mathématiques comme l'est l'impossible quadrature du cercle. Pour résumer, l'étude porte principalement sur le multicadre en tant que coprésence d'images certes, mais d'images reliées entre elles par les courbes paramétrées. Groensteen précise la nature de la *solidarité iconique* par la notion d'*arthrologie* qu'il définit comme l'ensemble des relations qui relient les images qui coexistent dans l'espace de la solidarité iconique (1999, p. 25). Dans notre cas, puisque nous nous intéressons surtout à la coexistence des courbes paramétrées qui, elles, contiennent les cases, nous pouvons considérer cette recherche en partie comme une analyse arthrologique macroscopique, une étude des regroupements de cases en soi et en lien avec l'espace qui les soutient, donc en lien avec la spatio-topie. Cette analyse se fait de pair avec les espaces laissés vacants par les trames narratives et dont la juxtaposition aux courbes paramétrées permet les pavages de l'espace.

Puisque l'idée de surface demeure une considération primordiale tout au long du texte, nous discutons parallèlement les notions de recouvrements de l'espace au courant du texte. C'est la raison pour laquelle nous nous intéressons à l'espace des courbes ainsi qu'à l'espace laissé vacant par celles-ci. Les outils généralement utilisés pour les dénombrements des types de recouvrements des surfaces par des figures semblables découlent du domaine de la cristallographie, de l'article de George Pólya et Haag (Schattschneider 1992, p. 22-30) et de la théorie des groupes (Armstrong, p. 145-172) tout comme il en a été le cas avec certaines œuvres de l'artiste M.C. Escher. Les terminologies étant souvent multiples ou utilisées pour décrire des structures plus imposantes, comme les groupes de Coxeter ou les orbifold (Conway et Huson, p. 247-257), nous utiliserons la notation issue de la cristallographie sans en expliquer le mécanisme.

Le prochain apport significatif est celui de la théorie du récit de Marie-Laure Ryan qui permet aisément de mettre en lien les principes de l'hypercadre, du multicadre des courbes paramétrées et l'arthrologie. Le but de l'insertion du modèle de Ryan est de comparer les différentes représentations graphiques des histoires et récits afin d'en comprendre les avantages et désavantages. Dans son ouvrage *Possible Worlds, Artificial Intelligence, and Narrative Theory* l'auteure construit des schémas de récits qui incluent autant les évènements possibles ou imaginés que réels dans le contexte diégétique. Les premières constructions sont les *Plot-maps* (Ryan, p. 156-157) et les *State-Transition Diagrams* qui représentent par des réseaux en flèches la concordance ou divergence des histoires réelles ou imaginées dans la diégèse. Les flèches dans ce modèle sont en fait des vecteurs. Le sens de ces flèches est celui d'une implication logique ou de fait. Dans le cas des bouts de récits qui sont imaginés, ces vecteurs déterminent ce qui devrait découler logiquement de telle ou telle situation ou décision. Si Ryan base son modèle sur le concept de point narratif de William Labov et amélioré par Robert Wilensky, concept qui définit les points reliés par les vecteurs de son modèle et qui constituent les éléments importants de l'histoire racontée (Ryan, p. 150-154), nous délaissons cette précision dans notre modèle qui lui ne souligne que les points que le narrateur choisit de représenter sans préciser aucun autre détail quant à leur importance pour le récit.

Les modèles de Ryan ont plusieurs avantages et désavantages. Premièrement, ces modèles sont extrêmement utiles à la compréhension globale d'un récit. La vision macroscopique du récit permet de le saisir rapidement dans son ensemble et d'en percevoir aisément les différentes composantes importantes autant dans ce qui se passe réellement que dans ce qui est imaginé. Nous conserverons cette caractéristique qu'est le point de vue macroscopique de l'histoire. Cependant, comme mentionné préalablement, nous travaillons pour l'instant que sur le temps de l'histoire, donc tous les éléments imaginés disparaissent de ce modèle. Deuxième avantage en concordance avec notre modèle, les points narratifs présentés par Ryan sont des éléments de l'histoire tels qu'ils se déroulent dans l'ordre du temps de l'histoire. La courbe paramétrée ne représente que l'évolution temporelle d'un seul lieu et si possible d'un seul personnage, elle équivaut à une lignée de points et de vecteurs dans les schémas de Ryan.

Nous faisons usage de ce modèle dans une version qui se restreint à l'histoire racontée seule, donc une version qui exclue les segments simplement possibles ou imaginés du récit. De plus, l'usage des vecteurs comme liens entre les évènements est fort utile pour la compréhension de l'histoire, mais nous utilisons à la place la courbe paramétrée comme trame générale de l'histoire puisque ces courbes nous permettent de mieux nous servir de théorèmes issus de la théorie des graphes, de la géométrie différentielle et de la topologie. Autrement dit, au lieu d'avoir une suite de vecteurs qui passent d'un élément du récit à un autre, nous avons une courbe paramétrée qui passe par ces différents points.

Or, quelle est l'histoire précise qui suit continuellement cette courbe paramétrée? Dans le domaine de la physique, ces courbes servent parfois à représenter le déplacement d'une particule dans l'espace. De manière similaire, une courbe paramétrée peut suivre l'évolution dans le temps d'un espace discret. Dans notre modèle, cette courbe suit généralement l'espace discret autour d'un personnage et ainsi, de manière équivalente, son évolution temporelle. Nous pouvons généraliser ce principe à un univers diégétique au complet. Des exemples préciseront ces nuances. Sur cette courbe paramétrée peuvent ensuite apparaître des cases contenant les éléments précis que le narrateur décide de présenter. Contrairement aux points narratifs de Labov et Wilensky ces éléments ne sont pas obligatoirement importants, le narrateur ne fait que les présenter.

Le modèle proposé peut contenir simultanément plusieurs courbes paramétrées en associant à chacune d'elles l'histoire autour d'un personnage. Cela permet une présentation simultanée de toute l'histoire similairement au modèle de Ryan, mais construite à partir l'évolution temporelle de chaque personnage au lieu d'une suite logique de faits. De plus, cette représentation macroscopique de l'histoire peut jouer le rôle du récit. C'est-à-dire que l'œuvre d'art qui représente cette ou ces histoires est la schématisation macroscopique de celle-ci. Cette caractéristique est un aspect fondamental qui permet une exploration nouvelle du média. Il existe évidemment des exemples qui se rapprochent de ce que nous explorons dans ce mémoire et nous les considérons au courant du texte autant pour les explorations qui en découlent que pour les limitations qu'ils apportent. Comme le mentionne Groensteen, la totalité de l'espace couvert par l'ensemble des cases est essentiel à la bande dessinée : *« En résumé, les codes se tissent à l'intérieur d'une image à une chaîne narrative dont les maillons sont étalés dans l'espace, en situation de coprésence »* (Groensteen 1999, p. 8).

Un modèle tel que celui de Ryan peut facilement se porter à cette extension et faire de la présentation d'une histoire avec ses éléments réels ou imaginés une œuvre d'art en soi. On l'exclut de cette analyse pour l'instant pour deux raisons. En précisant notre analyse sur l'histoire, nous pourrons facilement analyser les différentes œuvres nommées précédemment. En second lieu, cela ne confère aucune caractéristique supplémentaire quant aux différentes observations apportées dans le texte se rapportant à la restriction au temps de l'histoire. Il est alors préférable d'entamer cette analyse dans une forme plus simple, n'utilisant que le temps de l'histoire.

Pour l'instant, nous constatons en quoi ce modèle permet de reprendre les notions de multicadre, d'hypercadre et d'arthrologie puisqu'une fois que nous considérons la représentation macroscopique de l'histoire ou de l'ensemble des histoires comme œuvre d'art en soi, les concepts ci-mentionnés s'emboîtent naturellement de manière hiérarchique. Nous avons la case, le multicadre qui regroupe les différentes cases et leur hypercadre; au lieu de disposer les multicadres sur différentes feuilles dans un album, nous les juxtaposons en une seule représentation globale de l'histoire qui elle-même devient récit. Certains trouveront un lien direct avec le canevas infini de McCloud. Nous discuterons ce concept, mais nous devons encore enrichir le bagage théorique afin de bien préparer le terrain pour le concept de McCloud.

Une fois que nous considérons ces histoires d'une perspective macroscopique, nous pouvons aller un pas plus loin dans leur représentation abstraite. Comme le mentionne Bernard Teissier, nous pouvons considérer ces histoires du point de vue de la théorie des graphes puisque la narration « provides vicariously the experience of a path (or a graph) of interactions among character » (Teissier, p. 232). Nous nous devons alors de définir ce qu'est un graphe, ce qu'est une représentation d'un graphe et finalement voir en quoi et sous quelle forme cela peut nous servir. Un graphe est un ensemble d'éléments qui peuvent être mis en liens. Ces liens sont nommés relations. Une représentation naturelle des graphes est de considérer les éléments comme étant des points et les relations comme étant des lignes reliant ces points deux à deux. Dans le jargon des mathématiques les points sont nommés sommets et les lignes arêtes (Bollobàs, p. 1). Dans notre cas, les arêtes sont des segments de courbes paramétrées, et donc segments temporels. Les sommets sont des points de rencontre auxquels nous voulons associer un évènement propre à plusieurs histoires, donc à plusieurs courbes paramétrées, possiblement le début ou la fin de certaines d'entre elles.

Il va de soi que les arêtes de ces graphes aient un sens de lecture, le sens d'avancement du paramètre *t,* le temps. Nous dirons dans ce cas que le graphe est orienté puisque les arêtes possèdent un sens (Bondy, p. 31). Nous pouvons alors faire une analyse des histoires sous ce modèle à partir de la théorie des graphes orientés. Il se trouve que certaines caractéristiques qui nous intéressent se conservent même lorsque nous oublions le sens de lecture des arrêtes. C'est pourquoi nous ferons l'analyse de l'histoire sous leur forme de graphe principalement dans l'optique des graphes non-orientés.

L'avantage de faire appel à la théorie des graphes est qu'un grand nombre de théorèmes peuvent nous aider à comprendre les caractéristiques propres à certaines structures d'histoires ainsi que certaines limitations de ces structures. Nous étudierons la cyclicité, c'est-à-dire la présence de chemins qui débutent et se terminent au même sommet (Bondy, p. 4). Nous pouvons également déterminer si le graphe est eulérien, c'est-à-dire s'il est possible de parcourir toutes les arêtes en ne passant par chaque arête qu'une seule fois (Bondy, p. 86).Dans le cas d'un graphe orienté ces définitions sont conservées mais le sens des arêtes doit être respecté (Bondy, p. 33 et 91). La raison pour laquelle nous nous réapproprions ces concepts est que cela nous permet d'analyser des histoires qui possèdent des structures fort complexes et presqu'impossible à déchiffrer si l'on n'en fait pas une représentation graphique. Il en est ainsi pour les films *Primer* et *Triangle*. Une autre motivation vient du fait qu'en créant un cycle, on délimite également un espace qui peut ensuite servir à la sémantique de l'histoire, cette caractéristique provient directement d'un théorème dû à Camile Jordan[4] que nous présenterons dans la section sur le cadre (Jordan, p. 589-590).

Il est important d'ajouter une nuance concernant cet ajout de la théorie des graphes : la confusion possible entre les concepts de structure et de géométrie (et donc aussi entre le récit et le récit-carte[5]). Ce qui importe à la base dans la théorie des graphes ce sont les liens entre les différents sommets, non pas la forme géométrique de ces liens, ni leur disposition dans l'espace. Par exemple, qu'une arête soit rectiligne ou courbe n'importe aucunement. Qu'une ligne soit horizontale ou verticale revient au même et tout polygone à quatre cotés équivaut à un carré, peu importe la disposition des quatre sommets ou de la longueur des arêtes. Donc, à prime abord et à moins d'avis contraire, tout résultat qui sera présenté à propos d'un graphe sera fait dans cette optique. Évidemment, il est ensuite possible d'ajouter des considérations géométriques dans la recherche de résultats ou dans la construction d'une œuvre. Un théorème peut préciser qu'il concerne seulement des segments rectilignes ou la disposition des sommets

---

[4] Pour une version topologique de la preuve voir Munkres, James R. *Topology*. 2nd Ed. New Jersey: Prentice Hall, Inc., 2000, p. 385-389. Plusieurs preuves du théorème existent, entre autres, des preuves par Ronald Bron, J.W. Alexander et Helge Tverberg sont disponibles.

[5] Récit dont le lieu précis des actions est important à la compréhension de l'histoire.

d'une histoire peut avoir une incidence sémantique. Cette double facette de l'utilisation des graphes -et des surfaces comme nous le verrons- comme modèle découle du fait que le modèle est à la fois symbolique et iconique selon les termes de Frey (Herman, p. 252). C'est-à-dire qu'ils sont idéogrammes par les concepts qu'ils évoquent par conventions et diagrammes par leurs ressemblances visuelles aux concepts qu'ils peuvent représenter (Herman, p. 455).

Le concept de canevas infini apporté par McCloud dans son ouvrage *Reinventing comics* se trouve en lien direct avec une autre caractéristique des graphes. Le canevas infini de McCloud est en fait une surface virtuelle sur laquelle peut se construire l'art séquentiel, ou la bande dessinée. Sur son site Internet il discute des avantages à travailler sur une seule surface, *« putting all panels together on a single "canvas"»* (http://scottmccloud.com/4-inventions/canvas/index.html). Il les met principalement en lien avec la publication de la bande dessinée sur Internet. Ce canevas est particulièrement approprié pour l'écriture et l'analyse des *hypercomics*, ou bandes dessinées partiellement interactives construites en pallier. Daniel Merlin Goodbrey en donne la définition suivante: «A hypercomic can be thought of as a webcomic with a multi-cursal narrative structure. In a hypercomic the choices made by the reader may influence the sequence of events, the outcome of events or the point of view through which events are seen. » (http://e-merl.com/hypercomics). Libéré du format papier et du livre, le canevas virtuel sur internet peut en effet prendre une infinité de formes. Il en donne quelques aperçus dans certaines cases, mais il ne va pas davantage dans cette direction. Il fait également indirectement référence à un support autre que le Web. Il est possible de voir quelques exemples qu'il offre dans son ouvrage. Il mentionne l'écriture sur le cube (McCloud 2000, p. 223), et sur un cylindre comme dans le cas de la colonne de Trajan (2000, p. 228). Soulignons de plus qu'une des particularités du canevas infini est le principe d'équivalence entre distance et temps (http://scottmccloud.com/4-inventions/canvas/index.html) comme pour la courbe paramétré $C(t) = (t, 0)$, axiome d'équivalence qui ne semble pas toujours être respecté dans les *hypercomics.*

Ce que nous tentons de faire finalement dans cette recherche est d'offrir des pistes d'exploration de ce canevas en fonction de certaines théories mathématiques déjà existantes. Ces explorations ne sont pas restrictives ni à un seul plan infini comme le défini McCloud ni à un support numérique. Plusieurs recherches, plus précisément dans le domaine de la théorie topologique des graphes, explorent les possibilités de dessiner certains graphes sur diverses surfaces selon un critère dit de planarité. Dans cette perspective, nous présenterons premièrement le théorème de Kuratowski qui définit certains critères qui garantissent la planarité d'un graphe sur le plan ou la sphère[6]. (Gross et Tucker, p. 42-49) Nous analyserons deux types de surfaces sous la lumière du critère de planarité, les surfaces orientables et non-orientables. Pour donner un exemple de surface orientable nous pouvons considérer la sphère ou le tore (Gross et Tucker, p. 119-120). L'exemple le plus populaire de surface non orientable est le ruban de Moebius (Pressley, p. 76-77), parfois appelé ruban de Lao Tseu en vertu de l'utilisation qu'en fît le philosophe chinois pour représenter le *yin* et le *yan* (Cazenave, p. 731). Il en existe en fait une infinité d'autres. Dans le dernier chapitre nous entamerons une exploration des différentes possibilités de représenter des histoires graphiques sur différentes surfaces qu'elles soient physiquement possible ou non, comme par exemple la bouteille de Klein (Barr, p. 62-63). Le canevas infini, dépendamment de ces considérations, peut prendre une forme réelle, sculpté, ou simplement être représentable via certaines stratégies dont le numérique offre plusieurs exemples.

Encore une fois, la topologie amène son lot de complications. Un peu comme pour la théorie des graphes, la topologie se penche sur des informations structurelles, les invariants topologiques, qui demeurent intactes si nous n'appliquons que des torsions et étirements sur l'objet étudié (Barr, p. 2-3). Par exemple, du point de vue de la topologie les polyèdres et la sphère ne sont pas différentiables puisqu'ils conservent la même caractéristique d'Euler (Barr, p. 10-11). C'est-à-dire que la soustraction des

---

[6] La prevue présentée dans cet ouvrage est une organisation due à Thomassen, la preuve originale de Kuratowski peut être trouvée dans Kuratowski (1930).

arêtes à la somme des sommets et des faces reliés à un graphe planaire donne le même résultat sur les deux surfaces. Tout comme précédemment, nous débutons par la perspective purement topologique avant de réintroduire des considérations plus géométriques. Nous explorons les surfaces progressivement afin de découvrir le plus grand potentiel intrinsèque à chaque surface. Le plan est naturellement la première surface considérée et en raison de sa grande simplicité nous éviterons presqu'entièrement les considérations topologiques. Nous retarderons l'utilisation de la topologie vers le dernier chapitre lorsque nous rencontrerons des surfaces plus complexes[7].

Mentionnons un dernier apport puisque qu'il dictera une certaine méthodologie utilisée dans cette recherche. Cet apport est double, il vient en fait de l'OuLiPo, principalement de Raymond Queneau, et de la combinatoire. Pour reprendre les termes de Marcel Bénabou sur l'OuLiPo, «  Le recours à la méthode axiomatique, l'importation de concepts mathématiques, l'utilisation de la combinatoire sont les axes principaux de cette exploration » (OuBaPo 1996, p. 3). Comme il en a été avec Queneau, l'idée de dénombrement sera importante. Dans plusieurs cas, nous offrons les dénombrements des possibilités qu'engendrent les types de graphes considérés. Cela permet premièrement de nous plonger plus en profondeur dans les différentes structures avec lesquelles nous travaillons ainsi que d'introduire le lecteur à une connaissance de base du type d'arguments qui soutiennent les résultats mathématiques qui seront pris en compte. Nous recyclons également l'idée de contrainte. L'ensemble du mémoire peut être perçu comme une longue série de constructions de contraintes. Les modèles d'histoires que nous proposons à chaque section sont des histoires qui exemplifient les concepts tout autant qu'elles fonctionnent dans les limites des contraintes explorées. Afin de donner suite au premier bouquet de contraintes de Thierry

[7] Le mot surface peut apporter des complications qui ne seront pas traitées dans ce texte. Le lecteur intéressé peut se référer à des ouvrages de topologie et de géométrie différentielle pour une définition mathématique des surfaces.

Groensteen[8] et pour permettre au lecteur et aux oubapiens assidus d'apprivoiser les concepts et possibilités, nous offrons une série d'exemples au courant de chaque section.

Résumons la démarche que nous avons entreprise dans ce mémoire. En considérant le temps de l'histoire d'un personnage comme étant une courbe paramétrée, il nous est possible de transformer la représentation macroscopique d'une histoire en œuvre d'art. Cette représentation, sans être un art peut s'avérer être un outil d'analyse efficace dans certains films de fiction. Cette représentation peut avoir des caractéristiques géométriques ou structurelles qui dépendent du canevas, c'est-à-dire qui dépendent de la surface sur laquelle la représentation macroscopique de l'histoire est déposée. L'analyse porte principalement sur les différentes formes structurelles possibles, principalement pour les histoires cycliques. La dénomination de sculpture narrative sert à se référer à ces entités dans leur ensemble. Cette formule sert donc à définir la représentation du récit comme série d'images reliées entre elles par une ou plusieurs histoires sur des surfaces qui peuvent être possibles dans le monde réel ou non. Le terme inclut également l'apport des principes mathématiques nécessaires à la compréhension de ces œuvres.

[8] Voir l'article de Thierry Groensteen : « Un Premier Bouquet de Contraintes ». Dans *Oubapo : oupus 1*.Édité par L'Association. Paris : L'Association, 1996, p. 13-59.

## Chapitre 2 : La case, les graphes et les arbres.

Plusieurs auteurs ont tenté de définir le sème de base de la bande dessinée. Guy Gauthier fonde son analyse du médium à partir de groupes de points et de lignes (Groensteen 1999, p. 3). Ulrich Kraft considère les unités de base comme étant des entités tels les corps ou parties d'un corps (Groensteen 1999, p. 4). Ces considérations sont en fait une tentative similaire à celle de comprendre le cinéma comme langage avec une syntaxe sous-jacente (Metz, p. 47-49). Cette perspective n'est d'ailleurs pas étrangère à celle de Emil Cohn qui lui aussi calque son modèle d'analyse de la bande dessinée sur la grammaire universelle de Chomsky (2003, p. 77-104). La démarche de la présente recherche étant d'inspiration structuraliste avec une analyse macroscopique de la trame temporelle, nous simplifions le tout en admettant la case comme unité fondamentale puisque c'est elle qui contient, de manière générale, l'unité de temps. Sachant également qu'il existe maintes formes pour la case, nous omettons les cas particuliers et définissons celle-ci comme l'espace intérieur délimité par un cadre. Dans ce chapitre, nous réviserons cette définition volontairement épurée à l'aide de la courbe simple fermée de Jordan[9]. L'espace intérieur de cette case contient également soit un intervalle de temps, soit un moment ponctuel de la diégèse. Il existe des cases dont le cadre n'est pas explicitement défini, ou dont le cadre n'est que partiellement défini, mais cela ne nous empêche pas de pouvoir considérer une section de plan comme formant un tout constituant la représentation d'une certaine temporalité de l'histoire.

Il est possible de construire une histoire à l'intérieur d'une seule case. Que ce soit les planches de *Yellow Kid* d'Outcault qui doivent être lues par errance du regard sur l'image comme l'errance dans une foire (Smolderen, p. 11 et 90), celles des *Far Side* de Gary Larson ou de Quino, ce type de case contient la synthèse d'une petite histoire. La valeur temporelle d'une case peut être indéfinie et aucun élément visuel

[9] Du point de vue des mathématiques, une courbe est un objet à une dimension. Dans notre cas, nous admettons une certaine largeur, celle nécessaire à l'inclusion des cases.

n'est requis à l'intérieur de son cadre. Des pages des *Chroniques aléatoires* de George Bess le démontrent bien. L'auteur réserve toute une page à des cases sans dessins et mentionne que cette page ne contient pas d'histoire, qu'il s'agit d'une page pour se reposer (Bess, p. 65). Dans une autre page, l'auteur invite le lecteur à une méditation d'une durée indéterminée devant une série de cases vides (Bess, p. 79). Une autre de ses pages est totalement dénuée de texte et de dessins, on ne voit que des oiseaux de la dernière case qui nous laisse comprendre que le vide représentait le ciel (Bess, p. 249). La page blanche a également été utilisée par Gustave Doré qui mentionne dans son *Histoire de la Sainte-Russie* que son ''éditeur'' lui a conseillé de laisser la place désignée pour représenter certains évènements incolores (Doré, p. 7). Certaines histoires, comme *The Cannibal Frame* d'Ibn al-Rabin (Molotiv, p. 44-45) ou les jeux de cadrages de Patrick McDowell (Molotiv, p. 20-25), démontre que les cadrages à eux seuls peuvent servir pour la construction d'une bande dessinée. (Figure1) L'inclusion de cases les unes dans les autres s'avère un autre moyen de bâtir une histoire. Lorsqu'une case s'inclue elle-même nous disons du processus d'inclusion qu'il est autoréférentiel. Une stratégie de la sorte permet une mise en abyme infinie de l'histoire. La page d'Al Williamson parue dans *Weird Fantasy nu.17* fonctionne de cette manière : deux extra-terrestres lisent la bande dessinée dans laquelle ils se trouvent (Estren, p. 32-33). *L'Origine*, premier tome de la série *Julius Corentin Acquefacque, prisonnier des rêves* offre également un tel processus itératif (Figure 2). En effet, l'auteur Marc-Antoine Mathieu présente son protagoniste en train de se lire lui-même (Mathieu 1991a, p. 29), soulignant que non seulement la bande dessinée constitue un monde clos (Parain, p. 39), mais que la case elle-même peut l'être. Même si dans ces deux cas l'imagerie récursive s'inscrit dans une narration plus large, nous imaginons très bien la possibilité d'utiliser une suite de cases imbriquées à l'infini pour former une narration. La case initiale peut apparaître directement comme sous-case ou comme énième case itérée dépendamment de la complexité de l'histoire. L'utilisation de l'ordinateur assure de n'avoir aucune image initiale ou finale en permettant des agrandissements infinis sur l'image imbriquée en elle-même.

Le cadre de l'image définit un second lieu, celui de l'extérieur de la case. En fait, pour être précis, le cadre en définit au moins un autre puisqu'un seul cadrage peut servir à délimiter un nombre arbitraire de cases. Nous utilisons la définition suivante pour la courbe simple : courbe qui débute et se termine en un même point et qui ne croise elle-même en aucun autre point. Cette courbe est en fait celle qui constitue le cadre de la case. Du point de vue topologique, il est possible de démontrer qu'une courbe fermée qui n'est pas concourante à elle-même sépare le plan en au moins deux espaces distincts : l'intérieur de cette courbe et les autres (Munkres, p. 377-380). Un second théorème précise que cette courbe sépare le plan en exactement deux espaces; l'intérieur et l'extérieur de la courbe (Munkres, p. 390-392). Même si ce point peut sembler fort intuitif, il s'avère qu'il est difficile à démontrer et il fallut attendre Camille Jordan pour en apporter une première preuve formelle en 1887 (Jordan, p. 593-594), preuve que Veblen considéra comme insuffisante. Ce dernier en proposa également une preuve en 1905 (Veblen, p. 83-98). Plusieurs auteurs travaillèrent par la suite sur la preuve du théorème afin d'en simplifier la forme. Il reste que du point de vue formel la preuve est longue et ardue. Pour reprendre les mots de Gonthier, cette preuve «is the black hole into which formalizing mathematicians fall» (Hales, p. 883). Le groupe Mizar[10] débuta une vérification formelle de la preuve par ordinateur en 1991. L'évolution a été longue et finalement Arthur Kornilowicz déposa une preuve qui demande pas moins de 6500 lignes en 2005. Thomas Hales, la même année, compléta une preuve avec HOL-light qui consiste de plus de 138 définitions, 1381 lemmes et 59 000 lignes de programmation. En termes d'inférences logiques, le chiffre s'élève à une vingtaine de millions (Hales, p. 883). La section qui stipule qu'une courbe simple fermée sépare le plan en au moins deux sections n'est pas si impertinente que cela puisse paraître puisqu'il est connu depuis Brouwer qu'il existe des courbes possédant la particularité de séparer le plan en plus de deux parties (Guggeheimer, p. 195), telle la courbe de Wada qui sépare le plan en exactement trois parties (Boltyanskiĭ et Efremovich, p. 24). (Figure 3) Le cadre de la vignette conventionnelle ne possède pas de

[10] http://www.mizar.org/

telles particularités et donc, il sépare l'espace du plan entre l'intérieur et l'extérieur de la courbe simple. Il est à noter qu'une version discrète du théorème de Jordan existe et que par conséquent celui-ci tient également pour l'image créée sur l'écran d'ordinateur (Šlapal, p. 3255-3264). Nous reviendrons sur d'autres points importants qu'implique ce théorème, mais soulignons pour l'instant l'impact en bande dessinée de cette capacité à séparer le plan entre l'intérieur et l'extérieur de la courbe, du cadre.

L'auteur possède l'option d'utiliser l'extérieur du cadre pour construire sa narration. Déjà dans la Bible Moralisée[11], un Dieu hors cadre[12] apparaît à plusieurs reprises et projette parfois des triangles bleus afin de punir les pécheurs[13]. Plus récemment, le personnage du professeur Burp de Gotlib s'y retrouve souvent pour jouer le rôle du narrateur dans un faux documentaire. Or, si l'intérieur de la case peut définir un lieu et une temporalité de la diégèse qui varie de situations concrètes à des situations aussi abstraites que la séparation entre la lumière et les ténèbres[14], il en est de même pour l'espace hors cadre. Nous classifions ces deux espaces en quatre modalités différentes suivant la synchronicité et la coprésence. Donc, ces deux espaces partagent ou non leurs temporalités et leurs espaces. Naturellement, ces deux espaces sont dépendants l'un de l'autre et l'espace de l'intérieur de la case peut empiéter sur celui de l'extérieur de la case. Benoit Peeters démontre dans son livre *Lire la bande dessinée* comment la taille des cases, et donc l'espace extérieur associé, s'adapte parfois au récit. Dans les trois cases tirées de *Les Bijoux de la Castafiore* de Hergé, alors qu'il tente de garder son équilibre le domestique prend un espace horizontal de plus en plus important. En perdant pied, les bras du domestique se balancent et il en résulte que le cadre doit être élargi pour permettre de voir l'ensemble du personnage (Peeters 1998, p. 60-62). Il

---

[11] La Bible Moralisée est un manuscrit du Moyen Âge qui présente en image plusieurs passages de la Bible. Elle fut probablement commandée par Isabelle de France au 13e siècle (Haussherr, p. 7).

[12] Le mot exact dans le cas de la Bible Moralisée est médaillon. (Haussherr, p. 3)

[13] Anonyme. *Bible Moralisée : Faksimile-Ausgabe im Originalformat des CODEX VINDOBONENSIS 255 der Österreicjischen Nationalbibliothek*. Paris : Club du Livre : Graz Akademische Druck-u. Verlasanstalt, 1973, p. 104. Un autre exemple d'apparition hors cadre se trouve à la page 112. Le cas le plus particulier se retrouve à la page vingt alors que le cadre est déformé pour prendre place dans le médaillon.

[14] Ibid, p. 2. Page 41 du *Commentarium*.

y a donc toujours la possibilité de jouer avec cette interdépendance de l'espace interne et externe de la case. À l'inverse, la taille de la case peut avoir un résultat sur la scène représentée. Dans *Little Nemo in Slumberland* de Winsor Mckay nous trouvons un résultat qui démontre ce principe. L'élargissement de la case dans ce cas ne se perçoit pas comme une «ouverture de l'objectif», mais comme un étirement vertical de l'espace intérieur du cadre initial, les corps inclus dans ce cadre en subissent les mêmes contraintes et s'étirent à leur tour (Canemaker, p. 11 et 118). (Figure 4) Les espaces intérieur et extérieur peuvent être cohabitables ou distincts et les variables de l'un peuvent affecter les variables de l'autre.

La juxtaposition d'un second cadre dont la temporalité dans la diégèse se situe après celle du premier se fait en général dans une seconde case en dehors de la première. En présentant un second cadre, qu'il soit collé au précédent ou séparé par une gouttière, une relation entre les deux apparaît. Cette relation naissant de leur état de coprésence s'impose comme l'unité de base de l'arthrologie. Elle définit en premier lieu quel sera le sens de lecture, de gauche à droite ou de droite à gauche. En second lieu, à moins d'épouser parfaitement les rebords du médium, elle redéfinit l'espace hors case comme espace de transition temporelle. Le lieu non représenté à travers lequel s'écoule le temps se situe entre deux cases. Le choix du lieu et du temps à l'intérieur de deux cases consécutives se fait parmi une infinité de possibilités que McCloud a regroupées en six catégories créées selon les aspects suivants : moment, action, lieu, sujet et aspect[15] (1993, p. 70-74). La contingence d'un aspect dans les deux cases constitue les cinq premières catégories et le *non-sequitur* détermine la sixième. En omettant les autres variables nommées par McCloud, nous pouvons procéder comme pour la case isolée et catégoriser les relations entre les trois espaces, l'intérieur du premier cadre, celui du second, et l'extérieur des deux, selon les contingences de temporalité et d'espace. En dénombrant toutes les possibilités, on obtient de total de 31 cas différents.

---

[15] Traduction libre de l'auteur.

La relation de temporalité entre ces trois espaces nous permet de construire notre modèle de narrativité sur la courbe paramétrée. L'idée est de considérer un cadre à l'espace extérieur des cadres des vignettes comme la pellicule peut-être le cadre de chaque photogramme d'un film. McCloud fait d'ailleurs cette analogie dans *Understanding Comics* (1993, p. 8). Ce cadre continu contient l'espace extérieur de la suite des cadres qui représentent l'histoire et à l'intérieur de ce cadre existe le temps continu qui s'écoule entre chaque case. Du point de vue de la modélisation formelle, ce temps en dehors des cases est celui du paramètre $t$ qui permet son expression mathématique. Il équivaut au temps continu que l'on retrouve dans les constructions d'histoire sur des broderies du Moyen Âge dont la tapisserie de Bayeux constitue l'exemple le plus connu (Blanchard, p. 18-19) (McCloud, 1993, p. 12-13). (Figure 5)

L'astuce centrale de l'utilisation de la courbe paramétrée se cache dans la métaphore de la progression du temps représentée par une ligne. La perception de la ligne comme quantité de temps vient de la conception du point en tant qu'instant, comme c'est le cas chez Léonard de Vinci (Brusatin, p. 89). Bernard Teissier, en se basant sur des études cognitives de Berthoz, en arrive à la conclusion que des connexions neurologiques permettent cette correspondance conceptuelle entre le temps et une ligne : «It allows us to accept as obvious that time is described by geometric line» (Teissier, p. 239). Bien qu'omniprésente de nos jours, l'utilisation systématique de la ligne de temps s'avère relativement récente; elle date de quelques siècles à peine. Du quatrième siècle à la fin du Moyen Âge, la représentation temporelle de l'Histoire s'articulait principalement dans les tableaux tels que celui développé dans la *Chronique* d'Eusebius (Rosenberg et Grafton, p. 26). Au douzième siècle, Pierre de Poitiers utilisa une colonne descendante pour l'écoulement du temps dans sa représentation du Vieux Testament destiné à ses élèves. L'idée fut reprise par Werner Rolevinck dans son *Fasciculus temporus*, mais sous une forme où l'écoulement du temps s'effectue à l'horizontale. Hartman Schedel reprit quant à lui la version verticale pour la représentation de l'arbre généalogique dans sa *Chronique de Nuremberg* (Rosenberg et Grafton, p. 31-32). Verticalement ou horizontalement, l'avancement le long d'une charte historique représentait la progression du temps. Afin de faciliter l'usage pédagogique de ces chartes[16] dans l'enseignement de l'histoire, les historiens prirent l'habitude de présenter plusieurs éléments contemporains les uns aux autres sur différentes lignes, le long de la même progression temporelle. Un tel exemple se trouve dans le *Chronicum* de Paulus Constantinus Phrygio de 1534 (Rosenberg et Grafton, p. 44-48). Finalement, le graphique historique qui vint réellement changer l'utilisation de ces lignes de temps par les historiens fut celui de Joseph  Priesley, *A New Chart of History*, en 1769 (Rosenberg et Grafton, p. 126). (Figure 6) Son travail, inspiré des *Tables historiques, chronologiques et généalogiques* de Jean Rou, *A View of Universal History* de Francis Tallent et *A Chart of Universal History* de Thomas Jeffrey (Rosenberg et Grafton, p. 97-101 et 115-116) est d'une grande importance puisque, comme le mentionne Priestley, l'expérience de compréhension se fait en dehors de la lecture et donc en grande partie par la représentation graphique (Rosenberg et Grafton, p. 122). À partir de ce moment, la cartographie du temps prit une multitude de formes dont plusieurs nous serviront d'exemple. Nous nous intéressons à l'une issue du domaine des mathématiques : la courbe paramétrée, de paramètre *t*.

L'apparition de la courbe paramétrée découle de la découverte du plan cartésien et de la géométrie analytique créée indépendamment par Descartes et Fermat. À l'inverse des Grecs de l'Antiquité qui utilisaient la géométrie pour étudier l'algèbre, l'apparition de la géométrie analytique a permis l'étude de la géométrie à partir de l'algèbre (Stillwell 2010b, p. 110). La décomposition de cette algèbre dans les coordonnées $x$ et $y$ est l'extension naturelle de cette perception. La courbe paramétrée apparaît lorsque nous voulons faire dépendre les coordonnées $x$ et $y$ sur un même paramètre, le paramètre $t$.

Le paramètre $t$ représente habituellement le temps dans notre modèle. Nous pouvons lui conférer des valeurs sur l'ensemble des nombres réels. Les valeurs positives de $t$ représentent les moments qui ont

[16] Nous utilisons le mot charte avec sa définition anglaise de ''document organisationnel'' puisque cette définition fait état précis du type de document dont il est question et qu'un terme équivalent en français n'existe pas.

lieu après un moment référentiel défini à *t=0*, et les valeurs négatives représentent les moments du passé diégétique de ce moment référentiel. Puisque nous nous occupons principalement du temps de l'histoire et non du temps du récit, ce paramètre varie de manière continue. Son utilisation pour le temps du récit impliquerait son découpage et la permutation de sections du domaine sur lequel il serait défini. Il serait possible malgré tout d'en faire bon usage dans cette recherche, mais comme mentionné précédemment cela nous éloignerait de l'objectif d'explorer la narration en se limitant au temps de l'histoire. Le concept même de continuité de ce paramètre s'applique ensuite à la continuité d'une fonction telle qu'habituellement définie et utilisée en mathématique (définition dont les rouages sont également délaissés puisqu'elle demeure généralement assez lourde et encore une fois cela ne servirait pas la compréhension claire du texte[17]). La continuité d'une fonction sert ensuite à définir la continuité de la courbe paramétrée et pour la raison mentionnée nous utilisons une forme intuitive de la continuité de la courbe paramétrée. La continuité du paramètre *t* indique que ce paramètre évolue graduellement sans irrégularités comme des coupures ou des espaces vacants. La continuité de la courbe implique que nous pouvons la tracer sans lever le crayon.

La continuité de ce paramètre sur les réels entraîne d'inévitables paradoxes similaires à ceux rencontrés par les théoriciens de la théorie des ensembles comme George Cantor (Vidal-Rousset, p. 12), en particulier des paradoxes sur la notion de longueur (Peter, p. 281-282). Par exemple, deux segments de droite de différentes longueurs contiennent exactement le même nombre de points puisqu'il est possible de les mettre en bijection, paradoxe équivalent au paradoxe de la roue d'Aristote (Gardner 1983, p. 2-3). Il en va de même pour un segment fini et infini. (Figure 7) Mieux encore, étant tous les deux dénombrables, le nombre infini de points d'une droite égale celui d'un plan, et ce même s'ils n'ont pas la même dimension (Guillen, p. 62). Dans notre modèle, nous contournons ce problème en admettant la

[17] Pour la définition complète voir Labelle, Jacques et Armel Mercier. 1993. *Introduction à l'analyse réelle*. Montréal: Modulo, p. 99.

correspondance absolue entre temps et distance comme un outil éventuel d'analyse ou comme une contrainte de création intéressante; il n'y a pas d'obligation à s'en tenir à la définition absolue. Dans ce cas, nous nous situons davantage dans la perspective offerte par la théorie des graphes dans laquelle la longueur ou la forme des arêtes n'importe pas. Les auteurs d'*hypercomics* travaillant sur le canevas infini de McCloud contournent également cette contrainte de l'équivalence distance-temps (http://scottmccloud.com/4-inventions/canvas/index.html). Nous constatons par exemple que dans *Popcom* (http://e-merl.com/pocom.htm) de Daniel Merlin Goodrey, cette constante ne semble pas toujours prise en compte. Des courbes de différentes longueurs peuvent contenir la même temporalité et inversement, deux courbes de même longueur peuvent contenir des temporalités différentes. Nous verrons que dans certains cas, il peut tout de même rester utile de conserver cet axiome d'équivalence entre espace et temps : un modèle appliqué au film *Inception* de Christopher Nolan le démontrera.

Le réalisateur américain David Llewelyn Wark Griffith décrit le début de son film *Intolerance* par une métaphore fort intéressante. Il compare la multitude d'histoires indépendantes qui découlent d'un point initial dans son film à plusieurs ruisseaux qui descendent une montagne (Eisenstein, p. 397). Cette image évoque précisément un type de graphe fort simple que nous nommons «arbre».

Comme mentionné au premier chapitre, un *graphe* G := {V, E} est un ensemble d'éléments *V* de pair avec les relations *E* qui les unissent. Lorsque nous voulons faire une représentation graphique de cette structure, il est fort utile de considérer les éléments comme des points (ou des sommets) et les relations comme des lignes (ou des arêtes) qui relient un certain nombre de ces points. La disposition de ces points dans l'espace, la forme et la longueur des lignes n'ont aucune importance. Seule importe la présence de ces points et la présence d'arêtes entre certains de ces points. Le nombre de sommets d'un graphe est son ordre et son nombre d'arêtes est sa taille. L'ordre peut être nul, constitué d'aucun point, nous disons alors que le graphe est *trivial*. S'il existe une relation réflexive d'un élément vers lui-même, nous représentons cette relation par une boucle qui débute et termine en ce point. Deux arêtes sont dites parallèles s'ils débutent et se terminent aux mêmes deux points. Un graphe qui ne possède aucune boucle et aucune arête parallèle est dit *simple* (Bondy, p. 2-3)

Un *chemin* est une suite de sommets et d'arêtes consécutifs sur un graphe. Le nombre d'arêtes d'un chemin est la longueur du chemin. L'artiste Paul Klee illustre bien le concept de chemin par ce qu'il nomme la « ligne *active* soumise à des délais » (Klee, p. 74). (Figure 8) S'il existe au moins un chemin entre toute paire de points d'un graphe, on dit que ce graphe est *connecté*. Un chemin qui débute et se termine au même sommet est un *cycle* (Bondy, p.4-5). Un graphe connecté qui ne possède aucun cycle est un *arbre*. Il découle de cette définition que les arbres les plus simples sont les chemins. Si plusieurs chemins sont raboutés les uns aux autres ou ont un même point de départ, nous obtenons encore un arbre. Un groupe d'arbres non connectés entre eux est une *forêt* (Bondy, p. 99-100).

Comme mentionné au chapitre précédent, nous pouvons représenter des histoires ou segments d'histoires par des courbes paramétrées et nous considérons que l'histoire se déroule le long de ces courbes. Nous pouvons comparer ce modèle à la «ligne active», c'est-à-dire à la simple promenade d'un point en mouvement (Klee, p. 73), ou dans notre modèle à la promenade d'un espace discret. Nous pouvons joindre les segments de courbes paramétrées, ou arêtes d'un graphe en chemin, afin de former un chemin plus long, ou une histoire plus longue.

Bien que les détails de la forme, de la longueur et du domaine du paramètre *t* peuvent s'avérer forts importants dans la composition d'une histoire, il est possible de les omettre temporairement afin d'en avoir une compréhension plus macroscopique. En ne prenant en compte que le temps de l'histoire, le début du film *Intolerance* peut ainsi être schématisé dans ce modèle comme étant quatre chemins incidents en leur point initial, donc, un graphe avec un point central et quatre arêtes, des courbes paramétrées partant dans des directions différentes.

Les arbres possèdent plusieurs caractéristiques intéressantes. Nous pouvons aisément dénombrer les arêtes d'un arbre à partir de son nombre de sommets en utilisant la formule *e=n-1* où *e* est le nombre d'arrêtes et *n* le nombre de sommets (Bondy, p. 100). Nous savons aussi que l'ajout d'une arête (sans l'ajout d'un sommet) à un arbre créé inévitablement un cycle et que par conséquent le résultat de cette opération n'est pas un arbre (West, p. 69). Nous pouvons construire des arbres à partir de chemins orientés, c'est-à-dire en donnant une direction à chacune des arêtes. Un *chemin orienté* est donc une suite de sommets et d'arêtes sur un graphe orienté qui respecte le sens d'orientation des arêtes. Dans ce cas particulier, l'ajout d'une arête sans l'ajout d'un sommet sur un arbre orienté n'implique pas systématiquement l'apparition d'un cycle. (Figure 9)

Comme nous l'avons vu avec la représentation du temps dans le domaine de l'Histoire, l'utilisation de la ligne comme support du temps est relativement récente. Dans l'historiographie de la bande dessinée, plusieurs historiens dont David Kunzle (1972)[18] et Thierry Smolderen (2009, p. 21)[19] trouvent des racines du médium dans la suite d'estampes de William Hogarth. Dans ce cas, les différents tableaux sont reliés par une trame narrative, mais aucune représentation de cette lignée temporelle n'est accessible. Le type de lecture requise pour en comprendre les rouages diffère beaucoup de celle presque automatique de la bande dessinée : lente, de va-et-vient entre les différents tableaux puisque ce sont les petits détails qui indiquent le sens de l'histoire (Smolderen, p. 14). La première juxtaposition temporelle de peintures par Hogarth est en fait *Before* and *After*, deux tableaux représentant un couple avant et après l'acte sexuel. Cependant, c'est pour de plus longues séries telles que *Harlot's Progress* que l'artiste est reconnu (Smolderen, p. 18). Les suites d'images visuellement reliées entre elles peuvent être retracées à l'Antiquité et un grand nombre ont circulé au Moyen Âge et à la Renaissance comme le démontrent les

[18] En fait, tout un chapitre est dédié à Hogarth et un autre est dédié à ses successeurs.

[19] Il est à spécifier que Smolderen oppose tout de même les modes de lectures de l'art séquentiel et du travail de Hogarth.

ouvrages de Gérard Blanchard (1969) et de David Kunzle (1972). Dans la majorité des cas, la courbe de l'histoire n'est pas explicitement présentée. Dans la *Bible Moralisée*, cette courbe se déroule verticalement avec les médaillons. (Figure 10) Nous retrouvons le même principe, mais cette fois horizontalement, dans l'œuvre de Rodoplhe Töpffer. Dans ce cas, nous constatons bien que la trame narrative se déroule sur une courbe paramétrée sous-jacente, et donc en termes de graphe nous avons un simple chemin. C'est ce modèle qui prévaut en général dans la bande dessinée; elle apparaît sous forme concaténation de segments de courbes paramétrées. (Figure 11) Nous retrouvons un exemple d'utilisation de courbe continue dans le roman *Tristram Shandy* de Lawrence Sterne où le narrateur tente d'exprimer le parcours de l'histoire de Tristram par une série de lignes loufoques (Sterne, p. 417-418). (Figure 12) Cette forme d'histoire en chemin apparaît distinctement dans certains roman-cinéma de Louis Feuillade dans laquelle l'histoire descend en zigzagant dans la page (Blanchard, p. 188). (Figure 13) Le peintre anglais construisit aussi des suites d'images dans lesquelles nous retrouvons une forme de montage : les tableaux 3,4 et 6 de la suite *Mariage À-la Mode* présentent les aventures du mari et de l'épouse indépendamment alors que les tableaux 1,2 et 5 présentent des scènes communes (Lacassin, p. 16), nous retrouvons une histoire en arbre dans laquelle les personnages se joignent et se séparent. Des histoires en chemin sont également présente dans des planches de McCloud (2000, p.223) et dans le travail de Bruno Schaub (Molotiv, p. 168-169).

La représentation de l'histoire sur une simple ligne de temps équivaut à un chemin et l'intersection des lignées dans un arbre généalogique est bien évidemment l'équivalent d'un graphe en arbre -un graphe en arbre dont les arêtes sont des segments de courbes paramétrées sur lesquelles se déroule l'histoire, ou les histoires.

Nous nous intéressons aux exemples qui présentent l'histoire sur des graphes en arbre un peu plus complexes que la plupart des bandes dessinées étant des juxtapositions de courbes paramétrées qui forment un chemin qui s'étale le long des pages d'un album. Un exemple intéressant se trouve dans

*Uchronie (l'utopie dans l'histoire) : Esquisse historique apocryphe du développement de la civilisation européenne tel qu'il n'a pas été, tel qu'il aurait pu être* de Charles Renouvier (1876). (Figure 14) L'auteur présente une histoire réelle et utopique sur un graphe en arbre en représentant les évènements réels en lettres minuscules et les évènements imaginés par des lettres majuscules (Rosenberg et Grafton, p.23). L'auteur explique en bas de page qu'une définition plus rigoureuse de son schéma pourrait être utile et il ajoute que la valeur des angles entre les trajectoires réelles et imaginées pourrait représenter la mesure de cet écart par rapport aux évènements réels (Renouvier, p. 467). On voit que ce modèle s'apparente au modèle de Ryan puisqu'il contient à la fois des moments réels et des moments imaginés dans la diégèse. Ce modèle donne également un bon exemple de l'ajout d'un aspect géométrique à la perspective de la théorie des graphes tant dans le processus de création que dans celui de lecture du graphe. Cet élément géométrique -le sens donné à l'angle d'inclinaison des arêtes- n'appartient pas à la théorie des graphes, mais permet d'enrichir les informations contenues dans le graphe.

Pour simplifier la compréhension des récits, nous retrouvons souvent des représentations similaires à celles existantes dans le domaine de l'histoire qui comme celles de Ryan donnent une orientation générale de lecture de gauche à droite en concordance avec notre sens habituel de lecture. Un exemple similaire est explicitement utilisé par Randall Munroe dans la bande dessinée *xzcd : The Movie Narrative Chart* (http://xkcd.com/657/). (Figure 15) À l'exception du film *Primer* dont nous étudierons la structure narrative dans le chapitre quatre, tous les exemples suivent cette tendance. La présentation d'une histoire sur le support macroscopique du graphe en arbre révèle cependant des aspects importants de leur réception que sont le sens et la direction de lecture.

Le sens commun de lecture en occident se fait de gauche à droite et se confond généralement avec la direction de lecture. On peut définir le sens de lecture comme étant le fait de lire de gauche à droite à partir du bas des lettres. La direction de lecture est l'orientation du plan sur lequel se fait la lecture et se réfère dans notre cas à la direction prise par la courbe paramétrée. (Figure 16) L'utilisation de la courbe paramétrée permet de conserver clairement les principes d'uniformité, de directionalité et d'irréversibilité propre au temps (Rosenberg et Grafton, p. 19). Il se trouve que les deux derniers ne sont pas des principes immuables. La forme des chartes historiques se compare aisément à celle de la courbe paramétrée et l'évolution de ce support depuis le 18e siècle dans la culture occidentale a déjà offert des cas de lecture verticale, horizontale ou même circulaire comme dans celle de Girolmo Andrea Martignoni (Rosenberg et Grafton, p. 108-109). La direction de la lecture, comme nous l'avons également vu dans le cas des histoires présentées en arbres, peut être définie à 360 degrés. Nous verrons dans les prochains chapitres qu'il est encore possible de donner de l'expansion à ce principe de direction. Il reste encore le point litigieux de sens de la lecture, c'est-à-dire le sens de lecture prise sur la courbe paramétrée elle-même.

Dans l'ouvrage *Possible Worlds, Artificial Intelligence, and Narrative Theory* de Marie-Laure Ryan, la présentation des récits conserve en général le sens de lecture qui est aussi la direction de lecture, et ce, autant pour les points et vecteurs qui suivent l'histoire diégétique que ceux qui suivent l'histoire possible ou imaginée de la diégèse. Une étape importante dans la création d'un corpus qui utilise la présentation macroscopique de l'histoire est de se défaire de cette contrainte. Dans la construction de telles œuvres, la possibilité de lecture pluridirectionnelle devrait être prise en compte comme élément esthétique ou porteur d'une sémiotique particulière. Un premier corpus intéressant est celui de l'OuBaPo qui offre de nombreux exemples dans son deuxième et troisième *Oupus*.

Le premier double sens de lecture à reconnaître est le double sens de lisibilité notamment propre au palindrome. Un exemple flagrant est celui de *Le Roi du Monde* de Lewis Trondheim (OuBaPo 2003, p. 14). (Figure 17) Dans cette bande dessinée de 16 cases placées régulièrement en carré, chaque ligne peut être lue de gauche à droite ou de droite à gauche et chaque colonne de haut en bas ou vice versa. Il y a également des possibilités de lectures à double sens dans chaque diagonale. Ces différents sens de lecture se rattachent à la plurilecturabilité de chaque case (OuBaPo). Il est possible de lire chaque case en plusieurs sens et il en découle plusieurs directions de lecture dans le multicadre. En fait, chaque direction de lecture contient un double sens de lecture. L'interprétation du sens de lecture peut se confondre avec celui de la direction sur le support. Dans cette situation chaque case a un sens précis de lecture, mais la suite des cases qui forment l'histoire est pluridirectionnelle. C'est-à-dire que le lecteur construit un chemin en passant d'une case à l'autre en suivant les différentes directions de lecture possibles à partir de chaque case. Une fois de plus l'*Oupus 3* offre de beaux exemples dans les «strips croisés» de Ayroles, Menu et Lécroart. Dans ceux de Lécroart et de Menu, nous pouvons lire chaque colonne vers le bas et chaque ligne vers la droite pour former un total de sept histoires possibles. (Figure 18) L'œuvre 26, *Ayroles fait ses strips croisés*, doit se lire dans le sens normal de gauche à droite et du haut vers le bas, mais à partir de chaque case plusieurs suites sont possibles comme le présente le schéma de la figure 19. L'ensemble des lectures possibles constitue 256 histoires différentes.

Un autre exemple de lecturabilité particulière vient des travaux de Gustav Verbeck qui produisit la série *The Upside Downs of Little Lady Lovekins and Old Man Muffaroo* (1903) (Figure 20). Après la lecture en son sens conventionnel le lecteur doit retourner la planche à 180° pour poursuivre la lecture (Couperie *et al*., p. 27). Plusieurs auteurs réutilisent cette technique dans *L'Oupus 3* : Gerner, Lécroart, Killofer, Ayroles, Lécroart, Trondheim et J.C. Menu se soumettent tous à cette contrainte (OuBaPo 2000, p. 2, 22, 20, 24 et 26). Dans les deux cas, le sens de lecture de la courbe paramétrée sous-jacente est double et par ce fait même nous lisons des graphes non orientés qui possèdent deux sens de lecture puisque chaque case peut se lire de gauche à droite ou de droite à gauche.

Pour un multicadre qui a un sens de la gauche vers la droite et du haut vers le bas, il devient facile de dénombrer le nombre de lectures possibles. En nommant chaque lecture vers la droite D et chaque lecture vers le bas B, on peut représenter par un mot. Une lecture du multicadre *DBDBDBD* représente alors une lecture sur la diagonale du multicadre. Le dénombrement du nombre d'histoires d'un multicadre de $m$ par $n$ cases revient alors à celui du dénombrement du nombre de mots de $m+n$ lettres D et B. Le résultat donne *(m+n)!/(m!xn!)* (Grimaldi, p. 27) Nous pouvons encore ajouter la contrainte de ne pas dépasser la diagonale du multicadre. Le problème du dénombrement des lectures possibles se transforme alors en celui des nombres de Catalan qu'il est également assez simple de calculer (Grimaldi, p. 36-38). (Figure 21)

Les exemples que nous venons d'étudier présentent une forme intéressante lorsque nous les considérons du point de vue des courbes paramétrées. Sous le multicadre se retrouve une panoplie de courbes clairement définies qui doivent suivre un sens et une direction de lecture. La plurilecturabilité peut être comprise dans ces cas comme la possibilité de sauter d'une courbe à une autre ou comme la coprésence superposée de toutes les courbes paramétrées possibles qui équivalent à une lecture possible.

Revenons aux cas où les courbes sont bien définies et disjointes les unes des autres. Cela permet de mettre en valeur une interprétation de la direction de lecture qui peut prendre une signification particulière en rapport avec le support de la courbe. Nous constatons que les exemples des chartes historiques et des différentes schématisations de l'histoire telle qu'elles se retrouvent chez Ryan restent encore très ancrés dans la tradition littéraire de la lecture de gauche à droite. Nous pouvons observer une tendance à mi-chemin entre sens de lecture traditionnelle et une exploration de la direction de lecture. Dans une planche de *Quimby the Mouse* de Chris Ware, nous retrouvons un bel exemple de structure en arbre, en chemin plus précisément, dans laquelle la direction de lecture n'est pas toujours équivalente au sens de lecture. Les cases suivent un parcours relativement conventionnel jusqu'au bas de la page, par la suite elles remontent du coin inférieur droit vers le coin supérieur gauche en quelques cases (Ware 2003, p. 28). (Figure 22) Les cases possèdent un sens de lecture de gauche à droite alors que la courbe paramétrée sous-jacente contenant le temps de l'histoire possède une direction qui va vers le haut. La direction globale du multicadre demeure quant à elle vers la droite puisque la courbe paramétrée nous ramène en haut à gauche de la page suivante disposée à droite de la première. L'auteur Fred propose une structure similaire dans un tome de *Philémon* où le protagoniste peut descendre la page en passant par plusieurs chemins (Fred, p.25). (Figure 23) Le schéma de cette page construit par Peeters indique que la structure de la page est un arbre orienté et qu'aucun cycle n'y apparaît (Peeters 1998, p. 71). (Figure 24) Comme le souligne Peeters, la planche apparaît tout d'abord comme un «espace homogène et simultané» (1998, p. 69). Une lecture plus approfondie révèle la présence d'un récit-carte : les évènements de l'histoire sont superposé à une carte de fond (le chien géant nommé Simbbabad) et ils sont disposés sur les lieux précis de la carte où ils ont lieu. Chaque évènement prend son sens avec son positionnement sur la carte puisque le lieu de l'action dans la case est le même que celui du multicadre.

Analysons un exemple qui s'écarte quelque peu de cette tradition. Dans son œuvre *Dernier Rappel*, Alex Robinson représente la tourmente dans laquelle se retrouve son personnage en offrant un dialogue structuré en arbre (Robinson, p. 216). Les différents phylactères  s'étalent et se perdent sur la page. (Figure 25) Même si des croisements se font au niveau des dialogues, puisque ces dialogues ont un sens de lecture la suite de phylactères forme un graphe orienté sans cycle. Par conséquent, ce graphe est un arbre. L'instabilité de la direction de lecture de la suite de phylactère renforce l'idée de l'égarement des pensées du protagoniste. Par conséquent, cet arbre, sans être un récit carte, contient une information contenue dans sa forme. Cette relation spatio-topique issue des différentes directions de lectures relie ces phylactères entre eux procure un sens supplémentaire à l'image.

Examinons un cas simple qui se base sur ce principe : une histoire construite en étoile peut souligner l'éloignement définitif de personnages dans le temps et dans l'espace. Dans un graphe, nous définissons la distance entre deux arêtes par la longueur du plus court chemin qui les sépare (Bondy, p. 80). Un graphe en étoile est un graphe tel qu'il existe un sommet à une distance 1 de tous les autres sommets (West, p. 67). Dans la représentation d'un graphe en étoile à *n* sommets, nous pouvons construire le graphe avec le sens conventionnel de lecture en plaçant le centre de l'étoile à gauche et les *n-1* sommets suivants à sa droite. Une seconde option est distribuer les *n-1* points autour du centre en les plaçant à une distance euclidienne[20] égale des uns des autres. Par la grande symétrie de l'image obtenue, nous obtenons une histoire qui possède plusieurs directions de lecture, mais un seul sens. (Figure 26) C'est-à-dire qu'en fixant au bas de l'image d'une seule case le référentiel de lecture, la lecture de la prochaine case se fera vers la droite, mais lorsque nous observons le graphe en arbre de manière générale, il y a des branches qui partent vers différents angles du plan. Un exemple simple d'histoire basée sur cette structure est un graphe en étoile dans laquelle à partir d'un évènement dramatique, plusieurs amis partent dans des directions régulièrement distribuées sur 360 degrés. Cet éloignement égal des personnages des uns aux autres insinue un éclatement parfait du groupe social. Une telle histoire en étoile a été conçue par Henriette Valium pour l'affiche *Créateur : tu est* (sic) *et tu seras ça toi!*. Dans ce cas, les cinq cases disposées en périphérie pointent vers la case centrale où se déroule l'acte de création. Nous avons une histoire en «étoile» du point de vue iconique, mais le texte semble suivre un ordre plus habituel, c'est-à-dire que le texte des cases semble devoir être lu en passant par l'ordre conventionnel des cases de la bande dessinée. (Figure 27)

Cette liberté prise en regard de la direction de lecture apparaît déjà dans plusieurs *hypercomics* qui utilisent à plein escient la pluridirectionnalité de l'espace du plan cartésien et offre au lecteur des symétries esthétiques de la présentation macroscopique de l'histoire. Comparons trois exemples d'hypercomics de Daniel Merlin Goodrey, soit *Never Shoot the Chronopath*[21] , *Merlism : The Book of Merl*, et *Cells : War on Weird*[22]. Le premier offre une belle structure globale principalement constituée de trois branches, mais qui garde une lecture de gauche à droite. (Figure 28) Le deuxième possède principalement une structure similaire à celle de l'étoile ou des rivières de Griffith où plusieurs histoires découlent d'un point central. Il n'en reste pas moins que les deux principales directions sont le haut et le bas. (Figure 29)

[20] Par distance euclidienne nous nous référons à la distance dans le plan au lieu de la distance définie dans le graphe.
[21] http://e-merl.com/chrono.htm
[22] http://e-merl.com/cells.htm

Finalement, plus éclectique, *Cells : War on Weird* travaille dans plusieurs directions à la fois. (Figure 30). Comme le remarque Martha B. Kuhlman en se basant sur l'analyse de Thomas Bredehoft, la multitude des directions de lecture caractérise également certaines pages de Chris Ware: «one can approach the multilinear pages in *Jimmy Corrigan* from several directions.» (Kuhlman, p. 83). Nous ajoutons que dans le cas de ces planches, certaines cases ont également des sens de lecture qui diffèrent du sens habituel.

Nous pouvons donc considérer à la fois un sens et une direction de lecture dans la création d'une œuvre. De plus, comme le mentionne Groensteen dans son analyse spatio-topique, la forme de la suite de case peut être un élément important. De manière équivalente, la forme de la courbe paramétrée peut donner lieu à une esthétique et à des interprétations particulières, à un graphisme sémiotique comme le souligne Peeters (1998, p. 106). Nous verrons ce fait plus en détail à l'aide de remarques de Brusatin, Kandinsky et Klee. Or, inévitablement la direction prise par la courbe a une incidence sur la forme du graphe et par conséquent sur le sens de sa forme. Le schéma apocryphe de Renouvier en est un bon exemple avec la sémantique apportée aux angles entre les segments de droite. Nous allons étudier un exemple fort simple qui illustre à merveille l'utilisation conjointe de direction de lecture et de la spatio-topie, celui de la spirale. Un exemple saillant nous vient du milieu de la musique et il nous est possible de l'étudier sous le modèle de la courbe paramétrée. La partition musicale représente naturellement une progression du temps et une belle analogie entre cette trame de temps et une trame narrative est bien représentée par le travail de J. J. Granville paru dans la revue *Magasin Pittoresque* en 1840. (Figure 31) L'auteur présente une histoire de bonshommes allumettes sur une partition musicale; le temps de la partition musicale est en fait le même que le temps de l'histoire (Smolderen, p. 37). Cette correspondance entre le temps de la partition et le temps de l'histoire apparaît également dans *Histoire de la Sainte-Russie* de Gustave Doré. Dans ce passage, le czar Nicolas I amène un de ses boyards devant son armée afin que ce dernier démontre ses capacités (Doré, p. 179). (Figure 32) Ces deux temporalités trouve une parfaite équivalence puisque le temps de cette partition en littéralement un sous segment du temps de l'histoire de la Russie.

L'analyse ou la construction d'histoire de par la spatio-topie peut s'avérer utile puisque la forme d'une courbe peut déjà être porteuse de sens. Par exemple, Brusatin écrit que « Le *sublime* est à la fois une ligne brisée et zigzagante…» (Brusatin, p. 132). Des artistes comme Paul Klee et Wassily Kandisky ajoutent des éléments à ce type d'analyse perceptuelle. Kandinsky, distingue les «lignes droites libres» en opposition aux diagonales et discute de la notion de température d'une droite (Kandinsky, p. 69). Dans sa *Théorie de L'Art Moderne*, Klee mentionne que deux lignes secondaires peuvent former une ligne imaginaire (Klee, p. 74). (Figure 33) Nous analyserons le cas particulier des spirales puisqu'elles possèdent une spatio-topie complexe qui évoque souvent la folie. Avant de le faire, nous devons voir l'utilité de la construction en arc de cercle. Dans les deux cas, les courbes paramétrées que nous utilisons peuvent faire usage de fonctions trigonométriques dépendantes de $t$ dans leurs coordonnées $x$ et $y$. En ce sens, le temps devient un paramètre angulaire de la courbe. Par exemple, sur un quart d'arc de cercle dans le premier quadrant du plan cartésien, le paramètre angulaire du temps passe de 0 à 90 degrés. En prenant des cercles de rayons différents et en nous basant sur une équivalence stricte du temps et de la distance sur une courbe sur le canevas infini tel que le propose McCloud, nous remarquons qu'un même temps angulaire représente différents temps de l'histoire sur différents cercles. Sur de plus petits cercles, le temps sera court et sur de grands cercles le temps sera beaucoup plus étiré. Ce modèle représente parfaitement ce qui se déroule dans le film *Inception* de Christopher Nolan. L'arc de cercle le plus proche représente le déroulement originel de l'histoire et chaque cercle supplémentaire représente un niveau de rêve superposé. Conformément au récit de Nolan, un temps court du premier arc de cercle est étiré sur le second et encore plus étiré sur les cercles plus éloignés. (Figure 34)

Nous devons apporter quelques précisions sur le paramètre $t$. Puisque ce dernier varie sur les nombres réels, il peut représenter plusieurs intervalles différents : un intervalle fini, un intervalle allant de l'infini dans le passé à un moment précis, un intervalle allant d'un moment précis à l'infini comme le veut le concept d'*aevum* représentant le temps de la vie des anges tel que défini par le théologien Kilwardby (Gauvard, Libera et Zink, p. 12), et finalement, un temps variant de l'infini passé à l'infini futur. Nous expliquerons plus loin en quoi ces considérations sont utiles.

En 1972, le compositeur George Crumb composa une suite de pièces pour piano amplifié qu'il nomma *Makrokosmos*. La grande particularité de cette œuvre est la forme de ses partitions. Chaque section est associée à un signe du zodiaque et possède une partition de forme différente. La pièce *Spiral Galaxy* possède une partition en spirale. (Figure 35). Il est aisé de comparer la partition musicale avec une courbe paramétrée qui progresse au gré des mesures comme le fait Granville. On peut trouver un modèle similaire de représentation du temps dans le jeu *Wallis' New Game of Universal History and Chronology* de 1840 dans lequel les joueurs déplaçaient leurs pions le long d'une série de moments historiques disposés chronologiquement en spirale avec le présent situé au centre (Rosenberg et Grafton, p. 194-195). (Figure 36) Une telle représentation du temps a également été utilisée dans le cadre du jeu *The Victories of Gustaus Adolphus, King of Sweden, in Germany* (1631). (Figure 37) Kunzle remarque que la spirale suggère autant la continuité des victoires que la précision mathématique des déplacements du roi (Kunzle, p. 74-75). Les Yanktonais d'Amérique du Nord semblent avoir également utilisé une trame de temps en spirale dans la présentation de l'Histoire (Rosenberg et Grafton, p. 157). Le modèle le plus élaboré est sans doute celui du rabbi Jacob Bloch de l'Oregon qui proposait un modèle en spirale où le temps au centre représentait le passé et évoluait plus rapidement que celui plus à l'extérieur de la spirale qui représentait le temps plus proche du présent. Cette stratégie visait à éviter les nombreux trous laissés dans le lointain passé dans les chartes linéaires, espaces vacants qu'impliquait une moins grande connaissance des évènements de l'histoire antique (Rosenberg et Grafton, p. 200-202). En bande dessinée, Scott McCloud envisagea la possibilité de construire des histoires en spirale puisqu'il présente une suite de cases prenant une telle forme sur son canevas infini en arrière-plan d'une de ses cases. Il ne fait que suggérer cette utilisation, il n'insère pas la spirale comme structure des cases dans son ouvrage (McCloud 2000, p. 223). L'auteur Joe Matt fait un usage narratif d'une spirale dans l'une des pages de son journal *Peepshow : the Cartoon Diary of Joe Matt*. De la case supérieure droite de la page, le lecteur doit suivre l'auteur dans un parcours en spirale qui se termine au centre de la page (Matt 1999, p. 9). (Figure 38) Cet exemple démontre bien l'utilité de la spirale dans la présentation d'une histoire sur une durée finie. L'auteur utilise bien les notions de direction et de forme de la courbe paramétrée. Le changement constant de direction du personnage et de la courbe paramétrée souligne le manque de référents psychologiques du personnage et finalement l'auteur utilise la forme de la spirale pour piéger son personnage au centre de l'histoire. Les deux plus beaux exemples restent néanmoins ceux dessinés par Marc-Antoine Mathieu dans le second tome de la série *Julius Corentin Acquefacque, prisonnier des rêves : Le Processus*. À la page 37, le protagoniste parcourt une spirale qui non seulement aboutit au centre de la page, mais également sur la page suivante. (Figure 39) L'effet de profondeur renforce l'idée du point de fuite. La fin de l'histoire prend une forme similaire; la dernière page du récit présente une spirale de cases dans laquelle, théoriquement, l'histoire continue indéfiniment (Mathieu 1993, p. 46). (Figure 40) Dans le but de rendre plus palpable cette idée d'histoire sans fin, un utilisateur anonyme a proposé en 2003 une histoire en spirale dans laquelle le lecteur pourrait zoomer infiniment sur son écran d'ordinateur. L'utilisateur amenait l'idée de coder un programme pouvant donner cet effet d'optique. L'idée ne semble pas avoir trouvé preneur[23]. (Figure 41)

Dans le domaine des jouets optiques, il existe un exemple de disque de zootrope sur lequel la progression du temps s'effectue en spirale[24] (Willoughby, p. 55). Les implications d'une courbe

[23] http://www.zwol.org/forum/viewtopic.php?t=1284&sid=29afe7eb537b284815d2d075b9389c13

[24] Lorsque ce disque est utilisé dans sa fonction rotative initiale, cette visibilité de la continuité de temps en spirale disparait quelque peu au profit d'une progression radiale.

paramétrée qui possède cette forme de représentation en spirale sont multiples, principalement sur des histoires possédant au moins un infini temporel.

Plusieurs types de spirales existent : il y a la spirale logarithmique, la spirale de Theodorus, d'Archimède, de Fibonnacci, le lituus, la spirale hyperbolique et d'autres. Nous pouvons classifier les spirales en trois grandes catégories : les développées, la spirale d'Archimède et les spirales de croissance[25] (Lauwerier, p. 55-64). La définition de la développée étant quelque peu complexe, nous l'omettrons dans cette analyse. La spirale d'Archimède se caractérise pas la distance constante entre ses branches (Lauwerier, p. 60) comme nous pouvons le voir dans *Wallis' New Game of Universal History and Chronology*. Un second exemple de spirale d'Archimède est la spirale de Fermat. (Figure 42) Cette spirale diffère par le fait qu'il n'y a pas un point de convergence de la courbe au centre. En fait elle est constituée de deux segments se rejoignant au centre de sorte que si l'on suit un segment jusqu'au centre on se retrouve ensuite à suivre l'autre segment qui s'éloigne du centre.

Si nous voulons faire une modélisation formelle de la spirale à l'aide de la courbe paramétrée, plusieurs options sont possibles. Un exemple courant est une spirale de croissance, la spirale logarithmique $f(t)=(e^t\cos(t),e^t\sin(t)$ (Pressley, p. 8). Cette courbe a la particularité d'avoir un point de départ, mais pas de point final si l'on définit $t$ sur l'intervalle $[0,\infty[$ où le point initial se retrouve près du centre et d'où ensuite la spirale s'éloigne infiniment. Si nous définissons le temps sur l'ensemble des réels alors la spirale s'approche infiniment de l'origine lorsque le temps diverge vers l'infini négatif. Il est également possible de permuter ces deux points en inversant le signe du paramètre temporel.

Nous pouvons choisir de représenter une histoire infinie de plusieurs manières. Soit en lui donnant un début, mais pas de fin, et ce d'une manière difficilement représentable puisque cette fin peut

[25] Elles portent ce nom car on les retrouve souvent dans la nature.

diverger dans l'espace, soit en faisant l'inverse. En inversant le sens de la courbe paramétrée, nous obtenons une histoire sans début, mais avec une fin fixe et représentable au centre de la spirale. Nous pouvons donc de deux manières similaires représenter une histoire sans début ni fin : avec soit le début ou la fin comme représentable à l'infiniment petit centre et l'autre comme abstrait divergent vers l'infiniment grand. Un cas intéressant peut également être construit à partir de la spirale de Fermat. Dans ce cas, l'infini du passé et l'infini du futur divergent vers l'infiniment grand du plan. La forme particulière de la spirale de Fermat permettrait aussi de représenter un évènement important au centre et de mettre en corrélation les éléments du passé et du futur en les associant radialement le long de la spirale.

Nous devons alors faire face à une problématique déjà rencontrée par M. C. Escher lorsqu'il voulait représenter l'infini à l'aide de ses pavages du plan. En fait, lorsqu'il a terminé son estampe *Étude d'un remplissage du plan avec reptiles,* il a compris qu'il arrivait à représenter l'infini théoriquement par son pavage, mais qu'en pratique il lui faudrait poursuivre ses dessins indéfiniment dans toutes les directions (Escher, p. 44). Un problème similaire se produit avec *De plus en plus petit* (1956) (Locher, p. 219), le point de fuite au centre représente l'infini, mais l'infinité des reptiles qui divergent au-delà n'arrive pas à bien cerner l'infini. Notre situation est similaire dans le sens où nous pouvons nous poser la question à savoir comment représenter fidèlement le double infini du temps par une seule courbe. En gardant l'idée de spirale, nous arrivons à bien cerner le temps de l'infini qui disparaît de plus en plus petit au centre, mais celui de l'infini qui diverge en temps et en distance par rapport au centre du plan peut, comme pour Escher, nous sembler insatisfaisant. Dans le modèle de Bloch, cela détermine un futur réel non encore réalisé, mais dans le cas d'une diégèse où nous pouvons vouloir présenter un temps futur infini.

En fait, il nous est possible d'ajouter un deuxième point à l'infini afin d'y faire converger la seconde extrémité de la courbe paramétrée infinie. Encore une fois, George Crumb fit preuve de créativité et proposa une partition construite à partir d'une double spirale. Toujours dans l'œuvre *Makrocosmos*, cette partition pour *Aquarius* est construite sur une sorte de double spirale finie, finie car les lieux d'enroulement ne se font que pour une section finie. (Figure 43) Huang Yong Ping introduisit cette même idée dans l'œuvre *Carte du Monde* (Rosenberg et Graton, p. 216). (Figure 44) Dans un globe terrestre déroulé en double spirale, l'artiste présente la chronologie de désastres futurs. Ces deux exemples pointent vers la possibilité de représenter deux balises de l'infini dans un espace restreint. Une représentation formelle d'une double spirale peut-être vue dans la spirale de Cornu[26] (Pressley, p. 33). Cette double spirale possède la particularité de converger vers deux points précis[27] (Pressley, p. 32-33). (Figure 45). La gravure *Tourbillons* (1957) de Escher représente bien ce principe. Deux séries de poissons disparaissent en convergeant à l'infini en s'enroulant autour de deux points fixes. (Figure 46) Il existe également une version à trois spirales équivalente à la spirale de Fermat dans le sens où il n'y a pas de convergence infinie vers le centre[28]. En fait, cette triskèle représentant une déesse celtique ne diverge pas non plus vers l'extérieur du plan. (Figure 47) Il existe une variante de cette triskèle dans laquelle un des segments de chacune des trois spirales diverge vers l'infini. La construction d'une telle triskèle revient à l'équivalent d'un graphe en étoile de longueur infinie puisque ces trois brins qui forment les spirales partent d'un point central et ne se recoupent jamais. (Figure 48) Nous pouvons trouver d'autres manières de construire des doubles spirales, nous verrons celles-ci dans un chapitre ultérieur.

Les cas de la spirale finie de Joe Matt et de la spirale de Fermat démontrent bien l'importance de la spatio-topie. La série de cases, de par sa forme, peut permettre une interprétation plus précise de l'histoire. Joe Matt utilisa la forme de la spirale pour produire un effet claustrophobique et pour laisser sous-entendre que son personnage était pris dans un cul-de-sac. La géométrie de la spirale d'Archimède

[26] Cette spirale est construite par la variation linéaire de sa courbature.

[27] Cette propriété découle de sa définition. En effet, plus sa courbature tend vers l'infini, plus elle s'enroule en sens antihoraire vers des arcs de cercle ayant une courbature grande, et donc des arcs de cercle ayant des rayons de plus en plus petits.

[28] Notons que ces spirales apparaissent dans la bande dessinée *Meanwhile* (Shiga, 2010). Cette insertion ne présente qu'une forme en spirale de la courbe paramétrée, aucune case n'y apparaît et la spirale ne diverge pas indéfiniment vers l'extérieur.

permet quant à elle d'assurer de ne laisser aucun espace vacant entre les branches de la spirale allant vers l'infini. Ces cas sont de beaux exemples d'utilisation de la spatio-topie et des caractéristiques géométriques de la courbe paramétrée. La définition et les propriétés de l'espace sur laquelle la spirale se développe peuvent de plus mener vers la construction de récit-cartes. Par exemple, si nous considérons le centre de la spirale comme un lieu de grande richesse, une spirale tourbillonnant vers ce centre peut servir à représenter une lente progression vers l'avarice.

Les spirales sont fort intéressantes puisqu'elles soulignent un point important du canevas infini. Le plan est par définition infini par sa grandeur, par son incommensurabilité. Or, si nous nous basons sur la notion de plan cartésien, nous obtenons le résultat suivant concernant l'infini de ses détails : le plan cartésien est défini par ses deux coordonnées sur les réels, et par la densité des réels, ses points sont denses (Labelle, p. 10). C'est-à-dire que nous pouvons zoomer à l'infini sur n'importe quel point du plan sans qu'il n'y ait de lieu vacant. C'est aussi ce qui nous permet de réaliser ces spirales qui convergent vers ces points qui représentent le lieu du temps à l'infini. Sur papier, la représentation de telles narrations devient rapidement problématique puisque physiquement il nous est impossible de dessiner l'infiniment petit, problème qui peut être pallié par l'utilisation de l'ordinateur.

Dans la lignée déjà mentionnée des différents paradoxes liés au *contiuum* infini, les recouvrements de l'espace par une courbe ont fait couler beaucoup d'encre. Si cette caractéristique semble naturelle pour Kandisky (1970, p. 69), elle requiert plusieurs précisions de la part des mathématiciens. En particulier, tel que démontré par Eugen Netto, même s'il est impossible de mettre la ligne des réels en bijection avec le carré à l'aide d'une fonction continue (c'est-à-dire qu'il est impossible d'associer à chaque point de la ligne un seul et unique point du carré et vice-versa à l'aide d'une courbe continue), il est tout de même possible de faire une surjection ; en d'autres mots nous pouvons associer à chaque point du carré un point de la ligne (Sagan, p. 2). En fait, certains points du plan sont associés à plusieurs points de la ligne. Cette restriction est précisément celle qui empêche d'avoir une bijection entre les deux espaces. Dans la suite des débats sur ces paradoxes sont apparues les courbes de recouvrement de l'espace, c'est-à-dire des courbes qui théoriquement recouvrent entièrement une section de plan. Nous devons la première courbe de recouvrement de l'espace à l'italien Giuseppe Peano en 1890 (Peano, p. 157-160), mais à David Hilbert la popularisation de sa géométrie (Sagan, p. 10). (Figure 49)

La construction de la courbe de Peano se base sur un processus itératif. À partir d'une courbe de longueur finie, nous introduisons des segments de courbe semblables à la courbe initiale, mais à une plus petite échelle. Avec un choix adéquat de cette courbe et une itération à l'infini de l'insertion des segments de courbes, on arrive à recouvrir entièrement une section de plan. Plusieurs courbes similaires ont ensuite été proposées par différents mathématiciens tels que Sierpínski, Moore (Moore, 1900), Osgood (Osgood, 1903), Hilbert, Lebesgue (Delahaye 2004a, p. 92-93).

Nous avons déjà mentionné que les pages autoréférentielles contenant la mise en abyme infinie d'une case fait partie du répertoire de certains artistes. À l'opposé, le défi de la mise en abyme d'un nombre infini de segments de droite à l'intérieur d'un même segment initial reste encore à relever. Si nous ajoutons le critère du recouvrement du carré par l'itération à l'infini de ces courbes nous devrons alors également considérer les inévitables points qui seront recouverts plus d'une fois dans cette narration, donc inclure comme élément de l'histoire l'intersection de ces segments de courbes par eux-mêmes.

Nous arrivons à représenter l'ensemble de l'histoire comme ligne temporelle en considérant la trame temporelle qui lie entre elles les différentes cases d'une histoire en cadrant cette trame à l'intérieure d'une courbe paramétrée. En évitant la formation de cycle, l'agrégation de différents segments de courbes permet la construction de graphes en arbre qui peuvent servir la représentation macroscopique des histoires. La forme de ces arbres peut guider la création et la lecture de ces histoires. En ajoutant des points à l'infini, les histoires représentées peuvent posséder un temps diégétique infini.

Finalement, l’utilisation de courbes de longueur peut mener vers de nouveaux défis tels que le recouvrement théorique d’une portion de plan et le recouvrement du plan par une histoire.

## Chapitre 3: Les cycles et la planarité

Il n'est pas possible de reconstituer toutes les structures narratives à partir des histoires construites en arbres. Il est vrai qu'un bon nombre d'histoires possèdent des structures assez complexes qu'il est possible de construire sous forme de graphes en arbres orientés, mais ces arbres, par définition, excluent un ensemble de narrations : les histoires cycliques.

Traditionnellement, la cyclicité du temps est une composante fort commune aux sociétés archaïques qui ont la nécessité de se « régénérer périodiquement par l'annulation du temps » pour reprendre les mots de Mircea Eliade (1969, p. 104). Nous trouvons par exemple le *Neneh* des Égyptiens (Assman, p. 136-137) ou des emboîtements de cycles dans la conception du temps chez les Mayas ou dans l'hindouisme. En discutant des mythes lunaires présents dans un grand nombre de cultures, Eliade précise cette cyclicité du temps en ces mots : «Tout recommence à son début à chaque instant. Le passé n'est que la préfiguration du futur» (1969, p. 108). De ce fait, les mythes de la régénération cosmogonique ne sont pas représentables par des graphes en arbre puisqu'il devrait y avoir présence d'un cycle.

Les jouets optiques ont favorisé la production d'un bon nombre d'histoires cycliques. Le mécanisme de ces jouets optiques impose souvent cette contrainte. Comme le mentionnent Nicolas Dulac et André Gaudreault, le phénakisticope est, pas son dispositif même, condamné à présenter des images en boucles (Gaudreaul et Dulac, p. 32). Le zootrope et le kinétoscope présentent également des boucles sans fin. Il reste à savoir si ces petites boucles narratives sont réellement des histoires. Comme dans le cas de la définition de la bande dessinée, nous prenons une définition assez large qui nous permet d'inclure en premier lieu des histoires cycliques et en second lieu des histoires cycliques dont le cycle peut être aussi court que possible. Si le récit d'une histoire doit connaître un début et une fin comme il est communément admis ceux qui ont écrit sur le sujet (Gaudreault, p. 35-42), tel n'est pas le cas pour le temps de l'histoire diégétique. Comme nous le constaterons dans ce chapitre, l'absence de début et de fin n’empêche en rien d’avoir une histoire. Les mythologies cycliques constituent déjà un bel exemple de ce type de construction. Genette, d’ailleurs, ne semble pas proscrire la possibilité au temps de la diégèse d’être cyclique. C’est ce que Brian McHale décrit en discutant une sous-catégorie de narrations qu’il nomme *self-erasing* : « one can also ``bend‘‘ a sequence to form a *loop*, in which one and the same event figures as both antecedent and sequel of some other event. » (1987, p. 108). McHale mentionne que la reconstruction de l’histoire devient difficile puisqu’il n’est plus possible de savoir quels évènements précèdent les autres. En fait, cette difficulté disparaît lorsque nous acceptons la présence de temps diégétiques circulaires.

Revenons sur la définition du cycle dans un graphe avant d’étudier les histoires cycliques. Un cycle est une suite de sommets et d’arêtes consécutifs qui se termine en son sommet initial (Bondy, p. 4). Nous disons qu’un graphe est cyclique s’il est possible d’y parcourir un cycle. Dans un arbre, l’ajout d’une arête sans l’ajout d’un sommet rend le graphe cyclique (Bollobàs, p. 9-10). Nous disons d’un cycle qu’il est hamiltonien s’il passe une seule fois par tous les points du graphe (Bondy, p. 47). Nous nommons un tour un chemin qui passe par toutes les arêtes et nous précisons qu’il est un tour d’Euler s’il ne passe par ces arêtes qu’une seule fois (Bondy, p. 86). Nous pouvons dès lors analyser les types d’histoires cycliques en considérant les arêtes d’un cycle comme étant des segments de courbes paramétrées.

Nous distinguons deux catégories d’histoires cycliques. La première catégorie apparaît lorsqu’un personnage se retrouve à la fois dans le futur et le passé d’un moment diégétique. Ce modèle représente la trame de fond de plusieurs histoires dans lesquelles un protagoniste effectue un voyage dans le passé[29]. Les films de science-fiction incluent souvent le voyage temporel pour justifier la boucle temporelle. La suite des deux premiers *Terminator* (Cameron, 1984 et 1991) utilise une tournure de la sorte; le

[29] Des listes d’œuvres littéraires et filmiques qui font usage du voyage temporel peuvent être consultées aux pages suivantes : http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_time_travel_science_fiction#Time_travel_in_novels_and_short_stories et http://en.wikipedia.org/wiki/Category:Time_travel_films

commandant John Connor vivant dans un futur apocalyptique envoie Kyle Reese, un militant de la résistance de son armée, en mission dans le passé afin de protéger sa mère Sarah Connor et ainsi permettre sa propre naissance. Or, Reese se retrouve en relation avec Sarah et devient le père même de John Connor. Une construction similaire se retrouve dans les films *La Jetée* (1962) de Chris Marker et *12 Monkeys* (1995) de Terry Gilliam dans lesquels les protagonistes ont vu leur propre mort dans leur enfance. C'est-à-dire qu'ils ont voyagé dans le passé et sont morts devant leurs propres yeux d'enfants. Afin d'obtenir une histoire cyclique, nous devons nous assurer de respecter un principe connu en physique sous le nom de principe d'auto-consistance de Novikov et qui stipule que les courbes cycliques temporelles sont possibles si et seulement si les évènements produits dans la boucle s'impliquent les uns les autres : « they influence each other around the closed curve in a self-ajusted, cyclical, self-consitent way. » (Friedman et al., p. 1916).

D'autres films présentent des histoires simples sans tenter de justifier cette cyclicité temporelle, ils se limitent comme figure de style soulignant une cyclicité d'implications logiques, souvent un cercle vicieux. Le film mexicain *Chin Chin el Teporocho* (1976) de Gabriel Retes, basé sur un roman du même nom par Armando Ramirez (1972), traite des mésaventures d'un jeune adolescent dans le quartier de Tepito du District fédéral. Une chaîne d'évènements l'impliquant dans la délinquance le ramène finalement à la scène initiale, situation de laquelle il tentait de se sortir. La scène présentée au début et à la fin du film est exactement la même scène cinématographique, il y a cyclicité du temps et non pas une simple similarité d'états. Le film macédonien *Before the Rain* (1994) de Milcho Manchevsky boucle une histoire qui dévoile le cycle de la violence en Europe de l'Est. Encore une fois, les images présentées au début et à la fin du cycle sont exactement les mêmes. Dans ces deux cas, le voyage temporel n'est pas présent, il n'y a pas à proprement parler un voyage temporel, le temps y est simplement cyclique par définition comme il l'est dans les mythologies préalablement mentionnées. Ces histoires respectent le principe d'auto-consistance de Novikov.

Il est également possible d'obtenir une boucle sans toutefois avoir une histoire éternellement cyclique, et ce tout en respectant le principe de Novikov. Un cas possible qui respecte ce principe se produit lorsque le personnage retourne dans le passé et y séjourne sans jamais influencer le cours des évènements et qu'à son second passage au moment initial de son retour dans le passé il poursuit naturellement son séjour dans le futur. Nous pouvons représenter cette situation comme une boucle à partir de laquelle deux segments superposés se poursuivent vers le futur. Le premier représentant la temporalité de la diégèse précédant le voyage temporel alors que la seconde superposition représente le présent du voyageur.

Nous pouvons envisager dans la diégèse des histoires qui ne respectent pas le principe de Novikov. Ces histoires apparaissent lorsque le retour dans le passé s'effectue et que les évènements sont bouleversés de sorte que ces évènements ne mènent plus vers le futur préalable au voyage dans le passé. Les évènements ne s'impliquent plus les uns les autres. Nous pouvons modéliser le tout en utilisant plusieurs courbes parallèles qui suivent la même suite d'évènements dans le passé. Le voyage dans le passé ainsi que le changement du futur de ce passé revient à faire bifurquer une courbe paramétrée vers un point antécédent qui se situe sur une autre courbe. Le futur bouleversé n'est donc plus le même que celui de la courbe initiale et nous évitons ainsi les paradoxes. Nous pouvons de cette manière représenter les évènements du film *Source Code* (2011) de Duncan Jones. (Figure 1 et 2) De telles représentations se retrouvent sur le blogue de Romain Vuillemot (http://romain.vuillemot.net/2013/04/05/understanding-the-movie-source-code-with-two-images/). Dans le film, l'esprit du soldat Colter Stevens est transporté dans un temps parallèle à plusieurs reprises afin de prévenir une attaque terroriste. Les schémas, dont un initialement proposé sur le blogue Supermentera (http://supermentera.blogspot.ca/2011/04/source-code-as-i-see-it.html), présentent différentes courbes temporelles sur lesquelles se présentent des segments de la même histoire.

En bande dessinée, il existe plusieurs œuvres qui contiennent des boucles visuelles. Certaines de ces boucles sont réellement des histoires cycliques alors que d'autres, comme il en est le cas avec la peinture *Les Septs Péchés capitaux et les Quatre Dernières Étapes humaine* de Jérôme Bosch (Figure 3), ne servent qu'à obtenir une esthétique visuelle particulière. Une des dernières pages de *Derniers rappels* (2006) d'Alex Robinson et *Near the Forest* de François de Jonge paru dans *Lapin* Nu. 37 présentent de telles structures. (Figures 4 et 5) L'ordre de lecture des cases de cette dernière s'avère plus complexe que la simple lecture de plusieurs cercles concentriques (Groupe Acme, p. 188). Par exemple, certaines cases doivent se lire le long du rayon du cercle. Les constructions circulaires de la page de *How to be Cheap* de Joe Matt parue dans *Peepshow : the Cartoon Diary of Joe Matt* (1999, p. 50) et le mandala de Kevin Huizenga qui apparaît dans *Glenn in Bed* du premier *Ganges* (2006, p. 26) ne sont pas porteurs d'histoires cycliques. (Figures 6 et 7) La présence de cycles visuels sert principalement l'esthétique de ces bandes dessinées et ils se retrouvent, comme le souligne Isaac Cates à propos des cycles dans Huizenga, à la fois inclus et exclus de la diégèse (2010, p. 100). Plusieurs bédéistes ont également représenté des extraits d'histoires sous forme cyclique sans que ces boucles soient l'histoire principale. Scott McCloud présente un tel cycle en arrière-plan dans *Understanding Comics* (1993, p. 109). (Figure 8) Ce cycle n'est clairement pas l'histoire, il sert simplement d'exemple pour démontrer certaines possibilités de la bande dessinée, notamment la possibilité d'avoir une histoire sans début ni fin. Finalement, nous retrouvons certaines histoires qui fonctionnent en boucle, comme circularité de temps et d'évènements. Huizinga en fait un tel usage inséré dans son histoire *Glenn Ganges in ``Time Traveling``*, en fait le cycle est sous-diégétique puisqu'imaginé par le protagoniste. Huizinga présente ce cycle afin de clarifier les pensées de son personnage; celui-ci s'aperçoit que, théoriquement, si l'Univers est fini, les atomes passeront par toutes les configurations possibles de l'Univers et qu'elles reviendront inévitablement à la configuration du moment présent (Huizenga, p. 3). Un exemple autosuffisant de construction d'histoire cyclique vient de la mythologie bouddhiste, en particulier dans la représentation de la *Bhavachakra*, ou roue de la vie, dans les peintures tibétaines, les peintures *thangka* (Meulenbeld, p. 64). Les moines représentent sur le bord extérieur de la roue les douze *nidanas* qui forment de par leurs liens le cycle de la renaissance (Meulenbeld, p. 66) (Figures 9)  Les scènes représentées ont un sens dont la suite forme le cycle.

Les auteurs de l'Oubapo ont proposé plusieurs histoires cycliques pour le troisième ouvroir dans lequel elles prennent le nom de «morlaque», terme proposé par Jean-Christophe Menu (2011, p. 109). Ayroles, Gerner et Lécroart présentent des histoires simples dans des boucles à la fois visuelles et temporelles (OuBaPa 2000, p. 18, 30 et 36) (Figure 10). Menu de son côté propose une histoire cyclique dont le temps est cyclique, mais dont la majorité des cases se lisent de manière conventionnelle jusqu'à la dernière ligne qui doit être lue de droite à gauche avant de suivre une colonne qui remonte la page jusqu'à la première case (OuBaPo 2000, p. 24). (Figure 11) L'auteur Fred à également construit un cycle dans *L'Île des brigadiers*. Pour souligner ce fait, Hector, le père de Philémon, se fâche à l'idée qu'il faut encore tout recommencer (Peeters 1998, p. 93). (Figure 12) L'auteur a aussi offert un fou-rire cyclique et infini pour la revue *Hara-Kiri* (Cavanna, p. 109).

Le second type de cyclicité que nous distinguons est celui de la récursivité, la cyclicité des histoires autoréférentielles. Douglas Hofstandter définit les objets autoréférentiels comme étant ceux qui ont la capacité de «represent or to refer to themselves somehow, to designate themselves (or elements of themsleves) within the system of their own symbolism » (1985, p.7). Ce type d'histoires cycliques apparait lorsqu'une histoire se retrouve emboitée dans cette même histoire et que cette construction implique également une cyclicité temporelle. Brian McHale, discute des histoires qui s'emboîtent indéfiniment en réutilisant le vocabulaire de Genette. Il explique qu'il y a la diégèse au premier niveau ontologique, ensuite l'hypodiégèse, l'hypo-hypodiégèse et ainsi de suite (1987, p. 113). Or, le simple fait d'emboîter des histoires les unes dans les autres ne constitue pas une condition suffisante pour la cyclicité. Les films *EXistenZ* (1999) de David Cronenberg et *Avalon* (2001) de Mamoru Oshii ne sont pas cycliques. Dans les deux cas, les protagonistes se retrouvent dans un double emboîtement, celui du jeu vidéo dans la réalité et de la réalité dans le jeu vidéo. Nous pouvons tout de même comparer ces structures d'histoire avec celle que McHale définit pour expliquer le roman *Projet pour une révolution à New York* de Robbe-Grillet : «the distinction between diegesis and hypodiegesis can no longer be safely maintained. » (1987, p. 117). Si dans l'emboîtement il y a retour à un étage de la diégèse, il y a alors une métalepse, ou *strange loop* dans le vocabulaire de Douglas Hofstadter (McHale 1987, p. 119). Ces histoires ne sont pas cycliques, car même si la hiérarchie des inclusions les ramène dans un même monde ou dans un palier non identifiable de cette inclusion, le temps ne repasse pas par un moment déjà présenté dans l'histoire. La cyclicité de l'inclusion des diégèses n'implique pas la cyclicité du temps de la diégèse.

Une histoire cyclique autoréférentielle peut être tissée extrêmement serrée et n'être constituée que d'une seule image. Ce principe fractal fonctionne parfaitement dans plusieurs œuvres de Escher, dont la construction la plus complète se déploie dans *La galerie d'estampes* (Locher, p. 216). La construction de cette œuvre était si complexe qu'Escher lui-même n'a pu réussir à la terminer et il a fallu attendre H. Lenstra et son équipe pour réussir à la compléter. Lenstra et son équipe ont découvert les équations qui régissent la transformation imaginée par Escher et ils ont pu compléter l'œuvre à l'aide de celles-ci (Smit et Lenstra, p. 446-451). (Figure 13) Cette transformation, connue désormais sous l'appellation de l'effet Droste, est souvent réutilisée en photographie afin de produire des images autoréférentielles. Seb Pzbr et Josh Sommers sont parmi les photographes qui rendent le mieux cet effet[30]. Ce type d'image n'a pas d'indicateur temporel qui peut laisser sous-entendre qu'un certain laps de temps s'écoule tels des phylactères qui laissent sous-entendre le temps de la conversation; elles posent une ambigüité quant à leur cyclicité. Le temps ne revient pas à un moment initial, il est la superposition simultanée infinie de ce même moment. La page d'Al Williamson avec les deux extra-terrestres discutée au chapitre précédant clarifie déjà un peu plus ce statut de cyclicité. Les extra-terrestres lisent la dernière page de la bande

[30] Des images peuvent être observées sur leurs sites respectifs: http://joshsommers.smugmug.com/ et http://www.flickr.com/photos/sbprzd/sets/72157594172266668/detail/

dessinée sur laquelle n'est représentée qu'une seule scène. La présence d'un phylactère assure l'écoulement d'un certain temps à chacun des paliers de l'inclusion, laissant voir qu'il s'agit d'une histoire cyclique. En effet, malgré l'artifice visuel qui pourrait laisser entendre que tous les paliers récursifs sont synchronisés, cette coordination temporelle n'est pas obligatoire puisque le temps diégétique du premier palier s'écoule alors que les autres paliers sont des images fixes dans la diégèse avant que d'être porteuses d'un temps hypodiégétique. La page de Marc-Anthoine Mathieu, quant à elle, ne laisse aucun doute sur la cyclicité de ce segment d'histoire. La page lue par le protagoniste contient plusieurs cases, il y donc une succession de plusieurs moments distincts, les moments contenus dans chaque case, qui se retrouve ensuite itérée par l'inclusion infini. Toujours en bande dessinée et sous la plume du même auteur, le dernier tome de la série *Julius Corentin Acquefacque, prisonnier des rêves : Le Décalage* brise de nouvelles barrières dans sa construction d'une histoire cyclique autoréférentielle. Dans ce cas, le dispositif même de la bande dessinée est mis en jeu. Le protagoniste traverse l'histoire pour revenir au moment initial de l'histoire et pour s'inclure dans celui-ci (Mathieu, 2013). Pour renforcer cet effet, l'auteur décale le temps de l'histoire et le temps du récit. L'auteur se débarrasse pratiquement de tout métadiscours dans son ouvrage et il n'y a plus à proprement parler de page-couverture. Il existe des pages qui miment les artefacts de la page-couverture et des pages contenant le méta-discours, même qu'elles contiennent réellement les informations du méta-discours, mais ces pages font en fait partie de l'histoire. La page couverture et l'endos de la bande dessinée sont des pages de l'histoire et la seule trace de méta discours se trouve dans la constitution cartonnée de ces deux pages. Les temps du récit et de l'histoire étant décalés, la page couverture présente une page quelconque à partir de laquelle on entre dans le cycle. Ce procédé laisse comprendre que l'on pourrait fort bien avoir tout simplement une construction en cylindre de cette bande dessinée, sans page de carton, une construction équivalente au mutoscope d'Herman Casler (Gaudreault et Dulac, p. 49 notes en bas de page). Dans le mutoscope de Casler, les images doivent défiler à une vitesse suffisamment élevée pour créer l'illusion de mouvement alors que dans le cas de

Mathieu, le rythme lent de lecture de la bande dessinée est de mise. Puisque dans le cas de la bande dessinée *Julius Corentin*, le héros est éternellement réinséré dans la même histoire comme l'ouroboros se dévore lui-même, l'histoire est cyclique et autoréférentielle.

Les écrivains ont aussi fourni leur lot d'histoires autoréférentielles, mais bien peu sont réellement cycliques. En fait, il serait possible d'inclure la nouvelle *Continuity of Parks* de Julio Cortazar si nous acceptons le fait qu'au moment où l'assassin entre dans la pièce le lecteur est en train de lire le passage où l'assassin s'approche de sa demeure en passant par le parc (McHale 1987, p. 120).

Pour en revenir à notre modèle, commençons par mentionner les différentes distinctions à faire entre spatio-topie, courbe paramétrée et théorie des graphes. La structure d'une histoire cyclique n'implique que le fait suivant : la courbe paramétrée qui sert de cadre au temps de l'histoire revient, pour un certain temps $t$ à un point du plan qu'elle a déjà traversé, cette courbe repasse par le parcours qu'elle a déjà tracé. Nous pouvons par exemple modéliser un modèle simple d'histoire cyclique à l'aide de la courbe *(Cos(t),sin(t))*. Cette courbe donne simplement un cercle centré à l'origine du plan cartésien. Conformément au vocabulaire de la théorie des graphes, nous disons alors qu'il y a une boucle s'il n'y a qu'un sommet et un cycle s'il y a plus d'un sommet (Bondy, p. 3). Or, il existe d'autres courbes dont la perspective macroscopique diffère du cercle, qui peuvent se modéliser à l'aide d'autres courbes paramétrées, mais demeure simplement une boucle ou un cycle du point de vue de la théorie des graphes puisque dans cette théorie la forme et la longueur des arêtes n'importent pas. L'ellipse par exemple, diffère du cercle géométriquement, mais demeure une courbe simple fermée. L'utilité de l'ellipse apparaît avec sa forme : par les sommets de ses deux axes nous pouvons mettre en relation deux paires de moments diégétiques.

Il existe une panoplie de courbes paramétrées qui possèdent la particularité de se croiser elles-mêmes en plusieurs points. Par conséquent, un cycle peut également se croiser lui-même dans le contexte d’une histoire. Prenons un cas simple, celui de la courbe *(2Cos(2πt), Sin(4πt))*[31], qui forme ce qui est généralement utilisé comme symbole de l’infini, donc un huit couché. (Figure 14) Cette courbe, en plus de former un cycle, se recroise en son centre. À la différence de la double boucle que nous discuterons par la suite, le point d’intersection au centre ne constitue pas le point initial de l’histoire, l’histoire repasse par ce point sans toutefois recommencer symboliquement par ce point. Donnons un exemple simple d’une construction sur ce modèle. Un homme va à l’épicerie pour se procurer une bouteille de vin et accroche un homme en route. Sur le chemin du retour, il percute un homme et échappe sa bouteille de vin. Après avoir continué un peu son chemin, marabout, il décide de retourner à l’épicerie et sur le chemin du retour il se percute lui-même, la version de lui-même qui tient la bouteille de vin. Nous précisons que cette histoire n’est pas un récit-carte et donc une version non strictement linéaire graphiquement est acceptable.

Le nombre de points d’intersection d’une simple histoire peut augmenter lorsque la courbe se complexifie. La courbe *f(t)=(Sin(2t),Sin(3t))* est une boucle à sept points d’intersection. (Figure 15) L’avantage de construire des histoires sur de telles courbes est de pouvoir aller construire des histoires cycliques dans lesquelles les protagonistes repassent par des lieux et moments précis sans y avoir d’incidence ou de pouvoir construire des suites d’inférence dans un ordre non linéaire. Voici une histoire construite sur cette courbe. La structure des implications pourrait être plus complexe, mais nous gardons ce cas simple pour démontrer une caractéristique intéressante de ce graphe lorsque nous l’orientons. En colorant chaque arête noir ou blanche, il est possible de les colorer toutes en alternant les couleurs. Cela permet de construire une histoire sur une simple dualité d’état : riche et pauvre, heureux malheureux et ainsi de suite. Nous choisissons de construire la nôtre sur la dualité riche ou pauvre. Sur la figure 16, nous avons numéroté les évènements importants de l’histoire. Nous pouvons construire l’histoire ainsi :

[31] http://www.pacifict.com/Examples/Example4.html

1- Le personnage sort du casino avec de l'argent.

2- Il se fait tabasser et voler.

3- De mauvaise humeur, il appelle un revendeur de drogue et lui vole son argent.

4- Avec l'argent il va s'acheter de la cocaïne.

5- Il décide ensuite de cambrioler une banque.

6- Avec l'argent de la banque, il se paye une escorte (mâle).

7- Il va jouer à son tour son rôle de proxénète et ramasse l'argent de ses employés.

8- (1)Va déposer l'argent au casino qu'il possède, et le casino perd cet argent à un joueur chanceux.

9- (4)Il va alors vendre de la drogue pour renflouer les coffres.

10- (3) Il va voir un client et se fait voler.

11- (2)Il vole à son tour un étranger.

12- (7) Avec cet argent, il peut enfin payer son proxénète.

13- (6) Il se prostitue pour faire de l'argent.

14- (5)Il veut aller déposer son argent à la banque, mais se fait voler par le cambrioleur.

15- (1) Démoralisé, va jouer ses derniers dollars au casino et gagne.

Dans notre histoire, les points 2-3, 6-7, 3-4, 6-5 sont associés pour construire l'histoire. En considérant cette courbe paramétrée avec ses points d'intersection, nous pouvons constater que nous travaillons en fait sur un graphe équivalent à celui de la figure 17. Puisque chaque sommet a un nombre pair d'arêtes qui sont adjacents, le graphe contient des circuits eulériens. L'histoire construite ci-dessus n'est que l'un des circuits eulériens possibles sur ce graphe. Nous pouvons élargir la construction d'histoire sur les graphes en suivant une stratégie à celle du pairage des couleurs et des arêtes. Par exemple, autour d'un seul sommet, nous avons toujours quatre arêtes. Si nous voulons avoir quatre états différents autour de chaque point, nous devons utiliser au moins 4 couleurs. Si nous voulons que pour tous les sommets nous ayons que des arêtes de couleurs, ou états, différents, alors nous avons un problème de coloriage des arêtes à l'aide de *n* couleurs (Bondy, p. 451-452). Nous pouvons construire une histoire basée sur *n* états d'un personnage si nous savons qu'un graphe est n-coloriable sur ses arêtes. L'avantage de ne pas avoir des arêtes adjacentes permet de construire une histoire dont les incidences sont moins évidentes. Nous ajoutons qu'il a été plus facile de construire avec l'image de la courbe paramétrée plutôt que le graphe équivalent. Le choix de suivre la courbe à l'aide du paramètre *t* sur la figure initiale a aidé à prendre des décisions. La spatio-topie influence donc non seulement sur la lecture, mais également le processus de création. La courbe cyclique qui mènerait vers les plus grandes difficultés est probablement la courbe de Moore puisqu'en plus d'être cyclique elle est une courbe qui remplit le plan et qui par conséquent se croise elle-même une infinité de fois (Moore, p. 75).

Le modèle le plus simple pour avoir un point d'intersection s'obtient en ajoutant une seconde boucle au point de départ de la première boucle tout en la disposant de sorte qu'elle ne soit concourante à la première en aucun autre point. Deux cercles tangents représentent bien un modèle de la sorte. Nous obtenons alors une histoire doublement cyclique avec deux cycles indépendants mise à part le point d'intersection. Nous pouvons utiliser ce modèle pour représenter des histoires de réincarnations. Un personnage naît, vit et meurt avant de se réincarner dans une seconde vie. Il répète ensuite le tout dans sa seconde vie avant de se réincarner au début de sa première vie. Nous pouvons ajouter un nombre arbitraire de boucles à ce point initial d'intersection en nous assurant de garder toutes les boucles disjointes. Nous obtenons en ce sens un *wedge of circles* (Munkres, p. 434), ou bouquet (Gross et Tucker, p. 15), tel que nommé en topologie. (Figure 18) Un point intéressant de la juxtaposition de boucles est que chaque boucle peut contenir sa propre temporalité. Nous pourrions avoir de la sorte une juxtaposition de cycles qui durent une journée, une vie, une multitude de vies et ainsi de suite. Nous pouvons exemplifier le tout par les différents cycles de temps de la mythologie védique. Mircea Eliade en donne une brève description issue de l'*Atharva Veda*. Le plus petit cycle est le *yuga*, quatre *yugas* forment un *mahâyuga*. Mille *mahâyuga* forment un cycle *kalpa* et finalement 14 *kalpa* forment un *manvantâra*

(Eliade, p. 134-136). Nous pouvons donc représenter le présent, ou un présent diégétique, comme le point d'intersection de ces différents cercles. En restant un peu plus fidèle à l'axiome d'équivalence distance-temps de McCloud, nous pouvons obtenir une suite de cercles de plus en plus gros qui s'incluent les uns les autres à partir d'un point d'intersection initial à la manière donc fonctionnent certaines représentations du *Tzolkin*, le calendrier maya de 260 jours (Falcón, p. 22). (Figure 19)

Dès que nous travaillons avec plus d'une boucle, nous devons envisager un nombre arbitraire d'intersections entre ces courbes. Les courbes ayant la possibilité de prendre toutes les formes possibles, il en résulte que le nombre d'intersections peut être aussi grand que voulu. Dans l'*Oupus 3,* Lewis Trondheim propose une histoire multicyclique à partir d'agencement de deux ou trois cases. Le lecteur peut construire à sa guise la lecture du ou des cycles (OuBaPo 2000, p. 12). À partir de chaque case, le lecteur peut choisir entre les cases limitrophes suivantes. (Figure 20) Pour dénombrer le nombre de cycles possibles, nous devons séparer les lectures possibles en fonction de ce nous appelons le nombre d'enroulements, c'est-à-dire le nombre de rotations complètes autour du centre[32] (Munkres, p. 398). Si nous acceptons un seul tour à partir d'une colonne de 2 cases, nous obtenons 730 cycles différents possibles. Si nous acceptons de faire un second tour en passant par la deuxième case de la colonne initiale et en autorisant de repasser par des cases préalablement utilisées avant de revenir à la case initiale nous obtenons 531 442 cycles possibles. Si nous n'acceptons jamais de repasser deux fois par la même case, le nombre d'enroulements est évidemment de 2. Avant de tomber dans des cas plus complexes, travaillons sur le cas particulier où les courbes sont des cercles.

Le nombre maximal d'intersections de deux cercles est de deux[33]. Nous pouvons donc construire deux histoires en cercles qui possèdent deux points communs. Construisons un premier cycle avec

[32] Traduction libre de l'auteur de *winding number*.

[33] Ce résultat découle des deux racines possibles de la formule quadratique.

l'histoire d'un homme qui, selon la publicité du Public Service Announcement figurant John Michael Higgins, fait de la poudre pour travailler plus, pour faire plus de poudre. Ajoutons que lorsqu'il travaille trop, il bat sa femme, mais qui, pour apaiser sa culpabilité, lui donne de l'argent. Construisons ensuite un cycle son épouse se fait battre, est consolé par l'argent de son mari, dépense cet argent et finalement se fait battre à nouveau. Nous obtenons alors une double histoire cyclique à deux points d'intersection.

Avec l'ajout d'un troisième cercle à la construction, le modèle de l'histoire devient déjà beaucoup plus complexe. Si aucune paire de cercles n'est tangente, nous obtenons trois paires d'intersections de points pour un total de six sommets qui font partie de deux histoires à la fois. Reprenons à partir de l'histoire décrite précédemment, mais en ajoutant un personnage : l'enfant du couple. Déjà la forme linéaire d'un simple texte ne suffit plus à bien présenter les différentes scènes et leurs successions. La figure 21 avec son annotation exprime par elle-même l'histoire. Nous avons à l'aide d'un modèle simple une histoire qui confirme l'affirmation de Chris Ware : «Drawing is a way of thinking» (Cité par Raeburn dans Ball et Kulhman, p. XIX) La complexité de ce type d'histoire justifie l'analyse des histoires cycliques principalement dans le domaine de la bande dessinée puisqu'elles sont beaucoup plus compréhensibles dans ce médium. Nous obtenons une histoire très compliquée du point de vue littéraire, mais qui se comprend très bien en tant que graphe schématisé sur le plan[34].

Nous pouvons encore complexifier les contraintes avec lesquelles nous travaillons par les dallages du plan. Débutons par le dallage de la courbe paramétrée à l'aide des cases et passons ensuite au dallage du plan par les courbes. Un dallage, ou pavage, en bande est une organisation de figures géométriques sur une bande de sorte qu'aucun espace ne soit laissé vacant et en évitant toute superposition[35] (Stein et Szambó, p. 19). En collant des carrés l'un à la suite de l'autre nous arrivons à construire un tel pavage. Du

[34] Nous pourrions considérer ce graphe schématisé comme un cas planaire de sculpture narrative.

[35] Traduction libre de l'auteur.

point de vue strictement mathématique, nous pouvons ajouter la nuance de n'avoir aucune superposition de points pour construire des pavages parfaits (Delahaye novembre 2007, p. 154). Cette distinction empêche notamment de superposer les arêtes des carrés dans notre dallage. Dans notre modèle, l'ajout de cette contrainte est facultatif. Il peut être utile pour l'auteur d'avoir des arêtes disjointes ou des arêtes superposées. Nous verrons plus loin en quoi ces distinctions peuvent avoir des implications au niveau de la structure de l'histoire. Nous avons vu des exemples de pavages du plan à l'aide de spirale au dernier chapitre : la spirale infinie de la figure 41 pourrait finir par paver le plan au complet, de même pour le support du jeu *Wallis' New Game of Universal History and Chronology* si la spirale suivait son cours vers l'infini.

Nous nommons périodiques ou monohédraux les dallages qui sont effectués à partir de figures semblables (Gao, shi et Yan, p. 124). Il existe en fait une panoplie de dallages non périodiques et d'approches afin de les identifier[36]. Nous nous limitons aux pavages qu'il est possible de construire par symétries, car ils forment les cas les plus simples et les plus facilement adaptables à la narratologie. De point de vue des symétries possibles sur la bande, il existe sept manières différentes de couvrir la bande à l'aide de symétries (Conway et Huson, p. 255). Cette classification ne dénombre pas toutes les cases possibles pour effectuer les dallages, mais simplement les types de symétries applicables. La figure 22 démontre les sept types de symétries possibles.

Un principe similaire existe pour le dallage du plan. Polya et Haag ont dénombré les 17 pavages symétriques du plan dans une étude sur la cristallographie qui influença grandement Maurelus Escher qui avait quant à lui trouvé 16 de ces 17 pavages par lui-même avant de consulter l'article de Polya (Schattschneider 1992, p. 23-30). En se référant à la figure 23, nous identifions ces pavages par les noms

---

[36] Voir par exemple l'article suivant : Delahaye, Jean-Paul. 2013. « La quête du pavé apériodique unique». *Pour la Science,* n˚433 (Novembre), p. 124-129.

inscrits sous leurs représentations. Les nombreuses notations qui existent pour classifier les dallages du plan sont fort utiles pour des généralisations qui pavent d'autres surfaces mathématiques que le plan, mais cette notation simple nous suffit[37].

Revenons sur un aspect important. Nous savons que le cadre de la case délimite l'espace intérieur et extérieur de la case. De manière similaire, en construisant une histoire cyclique simple, c'est-à-dire sans autre point d'intersection que son début et sa fin, nous délimitons un espace intérieur et extérieur à cette histoire cyclique. Nous déduisons deux conséquences directes de ce principe. Premièrement, il est possible d'utiliser ces deux espaces à des fins narratives. Dans le cas des récit-cartes, ces espaces peuvent facilement prendre un sens important. Par exemple, en prenant l'espace intérieur comme le paradis et l'espace extérieur comme l'enfer, nous pouvons construire l'histoire d'un personnage qui est pris dans ce cycle infini qui le fait balancer entre ces deux destinées. Ces espaces peuvent également servir à présenter d'autres cycles qui ne sont pas en intersection avec notre cycle initial.

Nous déduisons également qu'il est possible d'effectuer des dallages du plan à l'aide de courbes paramétrées fermées et les espaces intérieurs à celles-ci. Dans ce cas, la superposition d'arêtes peut s'avérer un aspect important. Comparons deux exemples. En prenant une histoire cyclique simple proposée par Gerner dans *l'Oupus 3* (OuBPo 2000, p. 30) (Figure 24) La forme parfaitement rectangulaire de la suite de cases permet d'en prendre des copies conformes et de les juxtaposer en ses quatre côtés. En répétant indéfiniment ce processus, nous obtenons un pavage du plan avec des translations horizontales et verticales de l'histoire originale (ce qui revient au pavage C1 de la figure 23). Or, l'extension de ce cycle à l'infinité du canevas est somme toute superflue puisqu'elle n'ajoute pas à la structure de l'histoire, elle ne devient qu'un outil esthétique. Cependant, si nous ajoutons les contraintes suivantes nous obtenons déjà une structure plus intéressante : les paires d'arêtes opposées doivent être

---

[37] Les notations de Conway, de Coxeter et de Schonflies sont les principales notations alternatives.

exactement les mêmes et doivent être des palindromes. L'ajout de ces contraintes permet désormais de superposer les côtés des cycles que nous ajoutons pour paver le plan.

Nous avons analysé certaines propriétés des courbes en lien avec leur support, le plan. Nous avons vu par exemple qu'une courbe simple fermée sépare le plan en deux sections distinctes, l'intérieur et l'extérieur du plan. Nous avons également exploré les différentes méthodes pour recouvrir le plan, soit à l'aide des courbes de Peano, courbes pour lesquelles l'histoire doit être pensée comme la limite à l'infini d'une suite de courbes itératives, soit à l'aide de la disposition des cases comme dans le cas de la spirale de Joe Matt, soit par la disposition de cycles et de leurs espaces intérieurs comme dans l'exemple de notre pavage du plan à l'aide de concaténation de l'histoire cyclique de Gerner.

Nous étudions à présent une certaine relation qui existe entre les graphes et les surfaces sur lesquelles nous les représentons. Isaac Cates décrit la grammaire des comics et des diagrammes comme « their shared reliance on juxtapositions or continuities in two-dimentional space to indicate connections of meaning» (Cates, p. 95). C'est la limite de la relation à l'espace à deux dimensions que nous allons étudier. Nous précisons par le concept de planarité l'implication de cette présence sur une surface à deux dimensions lorsque les connexions sont celles d'une continuité temporelle. L'application au concept plus large de diagramme sera discutée par la suite en analysant des planches de Chris Ware.

Nous définissons l'homotopie de chemin comme la déformation continue d'une courbe paramétrée (Munkres, p. 323), et par conséquent de l'arête d'un graphe. Cette déformation continue implique qu'aucune coupure ou collage ne peut être fait à partir de la première courbe afin d'obtenir la deuxième. Un segment rectiligne est homotopique à un segment en zigzag qui débute et se termine aux mêmes points que le segment rectiligne. Une homotopie permet également de transformer un chemin en un seul point. Lorsque nous voulons souligner qu'une arête doit être conservée dans son intégrité, mais qu'elle peut tout de même être déformée de manière continue, nous utilisons le terme homéomorphique (Reinhardt et Soeder, p. 51). Nous disons d'un graphe qu'il est planaire s'il est possible de le présenter sur le plan de sorte que, visuellement, toutes les intersections d'arrêtes soient des sommets. Le graphe d'un carré et de ses deux diagonales, le graphe complet sur quatre sommets, est un graphe planaire puisque nous pouvons trouver une arête homéotopique (ou homéomorphe) à l'une des diagonales afin d'avoir une représentation qui exclue les croisements qui ne sont pas des sommets. (Figure 25) Un exemple de graphe non plantaire est le graphe complet sur cinq sommets, c'est-à-dire le graphe dont les cinq sommets sont connectés par une arête aux quatre autres. Autrement dit, la distance entre chaque point du graphe est de un. La caractéristique du graphe complet sur cinq points, $K_5$, d'être non planaire est indépendant de tout homéomorphisme : tout graphe dont la structure équivaut à celle de $K_5$ est non-planaire. Il n'existe donc aucune manière de dessiner ce graphe dans le plan sans avoir des intersections d'arêtes qui ne soient pas des sommets. Un graphe biparti est un graphe formé de deux groupes de points qui ne possèdent aucune arête entre eux. (Figure 26) Le graphe complet biparti sur deux groupes de trois sommets possède aussi la caractéristique d'être non-planaire. Nous verrons en quoi ce critère de planarité devient important lorsque nous construisons des histoires complexes. Étudions quelques propriétés de la planarité.

Tout d'abord, en omettant l'orientation possible des arêtes d'un graphe planaire, nous savons qu'un arbre est un graphe planaire. Si un arbre est planaire et orienté, il peut tout de même contenir des cycles lorsque nous oublions l'orientation. De plus, un graphe peut contenir des cycles qui eux, selon le théorème de Jordan, séparent le plan en régions. Or, le nombre de régions ne dépend pas de la représentation planaire choisie du graphe (Harris, Hirst et Mossinghoff, p. 76). Par exemple, le graphe complet sur quatre sommets possède toujours quatre régions peut-importe la représentation planaire que nous lui donnons. Un théorème d'Euler pour les graphes planaires assure cette constance[38]. De plus,

[38] La notion de région est ici quelque peu élargie. Une région est simplement l'espace défini par un cycle.

si un graphe est planaire, il contient un sommet dont le degré ne peut dépasser cinq (Harris, Hirst et Mossinghoff, p. 79). Une autre caractéristique est qu'un graphe est planaire si et seulement si tous ses sous-graphes sont planaires. La propriété d'être planaire dépend donc de sa structure, des différents liens qui existent entre ses sommets. Ces résultats sont alors consistants pour toutes les courbes homéotopiques ou homéomorphes formant ses arêtes. C'est-à-dire que nous pouvons transformer une représentation non-planaire d'un graphe en une représentation planaire si et seulement si ce graphe possède les propriétés structurelles d'un graphe planaire. En général, des spécifications géométriques sur les arêtes ne sont pas incluses. Elles peuvent toutefois servir à ajouter des éléments à la structure de l'histoire. Par exemple, on sait qu'un graphe est maximal si tous ses sommets sont de degré trois; le graphe est une triangulation (Ore, p. 6). Si le graphe contient un nombre infini de sommets et que l'on admet que les arêtes sont des segments de droites, alors nous obtenons un pavage du plan par des triangles quelconques. Si nous obligeons de plus ces segments à être tous de la même longueur, nous obtenons alors un pavage périodique du plan par des triangles équilatéraux. L'ajout de critères géométriques tels que la rectitude des arêtes ou la distance euclidienne entre les sommets redéfinit les frontières qui séparent les graphes planaires et non-planaires. Notamment, l'emploi unique de segments rectilignes augmente le nombre de croisements qui ne sont pas des sommets (Bondy, p. 273). L'ajout de la contrainte d'avoir des arêtes isométriques est un exemple de contraintes géométriques qui sort le graphe complet sur quatre sommets de la catégorie des graphes planaires. Cependant, tout graphe planaire à une représentation rectiligne[39] (Bollobàs, p. 22).

L'étude des graphes planaires mena également au théorème des quatre couleurs, théorème qui peut s'avérer utile en narratologie. Ce théorème qui resta longtemps une conjecture stipule qu'il est possible de colorier l'intérieur des cycles de tout graphe planaire avec quatre couleurs de sorte que les

[39] Ce résultat est connu sous le nom de Théorème de Fary.

couleurs de part et d'autre de chaque arête soient toujours différentes. Le problème est parfois nommé le problème de Guthrie, du nom d'un étudiant qui questionna Auguste de Morgan à ce sujet. De Morgan mentionna le problème à William Rowan Hamilton, mais le problème demeura inconsidéré. Il fallut attendre sa mention par Arthur Cayley en 1879 pour que les tentatives de résolution se multiplient (Ore, p. xi-xii). Finalement, après de nombreuses tentatives infructueuses, c'est Kenneth Appel et Wolfgang Haken qui prouvèrent la conjecture en 1976. Le théorème des quatre couleurs devient utile en narratologie lorsque nous associons les couleurs à des lieux ou à des états. Pour en revenir avec une représentation du paradis et de l'enfer autour d'un cycle, ce théorème implique que peu importe le graphe planaire sur lequel nous travaillons, si nous ajoutons deux espaces possibles entre les cycles, par exemple les limbes et le purgatoire, il nous sera possible d'avoir deux espaces différents de part et d'autre de chaque arête.

L'avantage d'analyser des histoires par leur planarité permet déjà une certaine classification. Par exemple, une fois que nous connaissons notre graphe planaire, nous pouvons définir le nombre maximal de cycles qui peuvent être construits dans ce graphe (Alfed et Thomasse, p. 255-263). Puisque dans le cadre de la bande dessinée, nous étudions des graphes dont les arêtes sont habituellement orientées, nous devons souligner que l'orientation des arêtes d'un graphe ne modifie en rien sa planarité.

Analysons un premier exemple qui sort de la plume de Raymond Queneau et dont Claude Berge souligna l'importance dans *Raymond Queneau et la combinatoire*, le numéro 89 de la bibliothèque oulipienne. Après avoir assisté à une conférence de Berge, Queneau décida de représenter la structure macroscopique de son *Conte à votre façon*. La fin de 19 des 21 paragraphes du texte contient des informations qui dirigent le lecteur vers un paragraphe de son choix. Queneau décida donc de «représenter par un graphe le déroulement des aventures de ces trois petits pois…» (Berge, p. 11). Queneau fit parvenir à Berge un graphe représentant la structure de l'histoire, mais omis d'étiqueter les sommets et d'orienté les arêtes conformément aux ordres de lectures possibles. Claude Berge termina cette besogne ce qui donna le graphe de la figure 27(Berge, p. 26). Nous remarquons en premier lieu que le graphe est planaire puisqu'aucune des arêtes ne se croise sans former un sommet. Ce fait est pour le moins particulier pour une histoire aussi complexe puisque Queneau n'en a construit le graphe qu'*a posteriori*. Nous précisons également que ce graphe n'est pas un arbre orienté puisqu'il existe des boucles entre les paires de sommets 7-8 et 13-14. Malheureusement, malgré cette méthode simple et efficace, il ne semble pas que Queneau ait poursuivi cette approche par la suite. En s'adressant à Berge, il a cependant souligné l'importance de certaines caractéristiques des graphes qui pourraient servir à l'étude des histoires: «je serais curieux de connaître pour ce graphe les valeurs des coefficients ''classiques'' dont vous nous avez parlé, le nombre chromatique, le nombre de connexités, etc. » (Berge, p. 11). Le nombre chromatique représente le nombre minimal de couleurs pour colorer les sommets d'un graphe de sorte qu'aucun sommet adjacent ne possède la même couleur (Bondy, p. 357-358). Nous avons déjà vu dans ce chapitre comment le coloriage des arêtes peut s'avérer utile, ce qui semble confirmer l'intuition de Queneau sur le sujet; nous pourrions construire une histoire en donnant une valeur sémantique à chaque couleur (par exemple rouge pour rencontre amoureuse) et l'utilisation du nombre chromatique pourrait alors servir à s'assurer qu'aucune rencontre de même type de se succèdent. Ajoutons qu'à partir du graphe offert par Queneau, nous pourrions facilement construire une version en bande dessinée de l'histoire de Queneau.

Nous avons déniché quelques exemples de bande dessinée, ou plutôt des planches de bande dessinée qui malgré leur grande complexité demeurent dans la catégorie des graphes planaires. Ces planches sortent d'un auteur dont Martha R. Kuhlman releva les liens avec des groupes comme l'Oulipo et l'Oubapo ainsi que la nature plus expérimentale de son approche : «Ware has been consistently interested in comics that violate the reader's expectations...» (Kulhman, p. 83).

La figure 28 présente une page de la bande dessinée *Jimmy Corrigan : The Smartest Kid on Earth* de Chris Ware (2000, p. 359). Plusieurs des flèches de cette page en diagramme sont en fait des flèches d'inclusion, mais cela ne nous empêche pas de voir entre les différentes suites de cases des courbes paramétrées qui les sous-tendent. Certaines lignes sont disposées sur la page de sorte à croiser d'autres segments. Or, en déplaçant quelque peu les flèches, donc en représentant à leur place des courbes homotopiques, mais en gardant la structure même du récit, nous trouvons que le graphe qui se cache derrière l'histoire est un graphe planaire.

Nous pouvons appliquer plusieurs autres opérations afin de simplifier la structure d'un graphe. Cela devient utile dans l'analyse de certaines structures. Premièrement, si un sommet est d'ordre deux, nous pouvons simplement l'omettre et tracer une arête directement entre ses sommets incidents, le résultat sera planaire puisque tous chemins sont homéomorphes entre eux (Gross et Tucker, p. 18). Dans le cas de l'analyse de planches comme celle de Ware, cela ne change en rien la structure du temps de l'histoire puisque l'opération revient à simplement inclure la case dans son segment de courbe paramétrée. Nous pouvons également supprimer les feuilles, les sommets incidents à une seule arête. Cela revient à dire que ces segments sont homotopiques à un point, celui du sommet précédant la branche de la feuille. Finalement, nous pouvons trouver des segments homéomorphes et les disposer autrement. L'application d'une série de ces opérations permet de classifier des histoires complexes de par leur planarité. Par exemple, nous pouvons modéliser la page 11 de *Quimby The Mouse* de Chris Ware (Figure 29) par le graphe de la figure 30. Une suite d'opérations permet ensuite de transformer ce graphe en celui de la figure 31. Par conséquent, la structure temporelle de cette page est planaire. La représentation graphique schématiser des plages de Ware n'est cependant pas toujours aussi simple. La structure de la planche de la figure 32 laisse une double interprétation en fonction de l'interprétation que nous donnons à la case centrale dans lequel Jimmy est détaché de la photo à la gauche de la case. Il est possible de décider de juxtaposer ces deux images en suivant l'indice visuel qui laisse comprendre qu'ils sont originalement dans une même case, ou nous pouvons choisir de nous en tenir qu'à la structure en diagramme proposée par les différentes flèches. Les planches les plus complexes de *Quimby the Mouse* comportent en général les mêmes relations problématiques. (Figure 33)

Comme le démontre le dernier exemple, les planches sous forme de diagramme produites par Ware échappent à notre modèle. La raison principale est que les flèches de ses diagrammes suggèrent souvent des relations autres que celle de temporalité (Cates, p. 91). Aux relations associatives, analytiques et métonymiques mentionnées par Cates, nous ajoutons celle d'inclusions. Les schémas de Ware sont souvent superposés à des images de fond auxquelles les cases sont associées. Ces histoires sont alors des récits-cartes qui compliquent l'interprétation que nous pouvons faire de la structure de l'histoire. Par exemple, si nous travaillons sur le graphe complet sur quatre sommets, l'ajout de la carte comme support peut imposer une construction non planaire de l'histoire si les diagonales du carré doivent obligatoirement demeurer à l'intérieur du carré.

Un théorème important définit les critères absolus de planarité. Ce théorème découvert indépendamment par le polonais Kazimierz Kuratowski et par le russe Lev Pontryagin (Delahaye 2008, p. 92) stipule qu'un graphe est planaire si et seulement si il ne contient aucune copie homéomorphe du graphe complet sur cinq points, $K_5$, ou du graphe complet biparti sur deux ensembles de trois points $K_{3,3}$, le graphe de Thomsen (Bollobàs, p. 23). Nous devons préciser ici ce que contenir veut dire. Nous disons qu'un graphe A' est le sous-graphe d'un graphe A si nous pouvons l'obtenir à partir de A par le retrait de sommets et des arêtes incidentes à ces sommets et en appliquant les opérations préalablement mentionnées dans l'analyse de la page de *Quimby the Mouse*. Il existe un équivalent au théorème de Kuratowski qui démontre cette caractérisation de la planarité par les graphes mineurs[40] (Bondy, p. 268). Ce théorème est dû à Klaus Wagner. Nous devons préciser que la présence des graphes $K_{3,3}$ ou $K_5$

[40] Un graphe mineur est obtenu à partir d'un graphe par suppression de sommets, d'arêtes et par contraction d'arêtes. Un sous-graphe ne permet pas l'utilisation de contraction d'arêtes.

n'implique pas obligatoirement la présence d'un cycle puisque l'orientation des arêtes peut proscrire les cycles. Une fois qu'un graphe est défini comme non-planaire, il est possible de définir le nombre minimal de croisements lorsque nous présentons ce graphe dans le plan (Bondy, p. 248).

Chris Ware n'a pas inventé la représentation du temps sur des graphes non planaires. La complexité de la représentation de l'histoire à l'aide de chartes par les historiens mena à de telles difficultés. La publication de la charte *Storm der Zuiten* (Stream of Time) par Firedrich Strass en 1804 (Figure 34) influença toute une vague de chartes dans laquelle le temps s'écoule le long de cours d'eau, d'arbres ou d'éclairs comme dans le cas de la charte de Strass (Rosenberg et Grafton, p. 143-147). La complexité de l'histoire implique que ces flux se croisent à maintes reprises. Dans la majorité des cas, les intersections de flux sont des éléments qui représentent des moments de l'Histoire. Malgré tout, quelques sections de ces chartes représentent des passages de flux sur et sous un autre flux, ou en langage de la théorie des graphes, des arêtes se croisent, mais cette intersection ne forme pas un sommet. Nous trouvons de tels exemples dans les chartes *Strom des Zuiten* de Strass, *A Chronological, Historical and Biographical Chart* (1807) par Stepehn et Daniel Dod (Figure 35), *Chronology Delianated to Ilustrate the History of Monarchial Revolutions* (1812) par Isaac Eddy (Figure 36), dans *Epitome of Ecclesiastical History* (1806) par David Rowland et dans le travail de James Goerge Roche Forlong sur le développement des religions (Rosenberg et Grafton, p. 143-149).

Le livre de Rosenberg et Grafton offre une liste de schémas temporels dont plusieurs sont non-planaire, notamment *Fluxus (Its Historical Development and Relationship to Avant Garde Movements)* (1966) de George Macianus qui approchait la création de chartes en tant qu'art et permet l'extension et l'appréciation des principes de Priestley (Rosenberg et Grafton, p. 232-233).(Figure 37) Les mêmes remarques peuvent être appliquées aux chartes *Cubism and Abstract Art* d'Alfred H. Barr (Figure 38) et celle sur l'histoire de l'art d'Eric Newton (Rosenberg et Grafton, p. 222 et 225). (Figure 39)

À ce jour, ce qui constitue peut-être la construction la plus élaborée d'une structure d'histoire non planaire est probablement *Meanwhile* (2010) de Jason Shiga. La structure de Shiga admet 3 856 histoires différentes qui s'étale dans un réseau complexe qui fait de nombreux va-et-vient entres les pages de la bande dessinée. L'ouvrage de Paul Gravett procure une charte globale de l'histoire de Shiga qui permet d'apprécier les nombreuses ramifications de l'histoire. (Figure 40)

Nous analysons dans cette fin de chapitre les structures globales des histoires des films *Primer* (2004) de Shane Carruth, *Triangle* (2009) de Christopher Smith et de *Looper* (2012) de Rian Johnson. Nous nous intéressons à ces films pour plusieurs raisons. Ces trois films contiennent des histoires très complexes. Nous savons que ces histoires contiennent des boucles temporelles, ou des cycles dans notre modèle, mais le nombre exact de ces cycles demeure obscur. De plus, nous ne savons pas s'il est possible de représenter les trames temporelles à l'aide de graphes planaires. Nous allons voir comment la structure globale de ces histoires est pratiquement impossible à deviner de sorte que, malgré la grande qualité de ces films, le spectateur ne peut pas deviner ces structures.

Le film *Primer* relate l'histoire de deux amis ingénieurs, Aaron et Abe respectivement interprété par Shane Carruth et David Sullivan, qui mènent des expériences afin de breveter des inventions qui pourraient trouver application sur le marché. L'une de ces expériences proposées par Aaron permet la modification du continuum temporel et le voyage dans le passé. Le retour en arrière leur permet de modifier le cours des choses, mais le futur de ces évènements n'est pas spécifié. Les protagonistes réalisent que la connaissance des évènements à venir leur permet de faire beaucoup d'argent à la bourse. Plus le film avance, et plus les personnages font divers voyages qui rendent l'histoire extrêmement complexe. Pour ajouter à cette difficulté, les personnages s'aperçoivent qu'il est possible de mettre une boîte dans une autre boîte pour amplifier le voyage temporel et retourner encore plus en amont dans le temps. Depuis sa sortie en 2004, le film a fait couler beaucoup d'encre. Plusieurs internautes ont tenté de représenter la structure globale de cette histoire par des diagrammes. (Figures 41- 46)

Les premiers diagrammes intéressants présentent le fonctionnement de la création d'une boucle temporelle[41]. Comme dans le cas de *Source Code*, il y a création d'une nouvelle lignée temporelle, ou de manière équivalente la courbe temporelle embarque sur une ligne de temps différente parallèle à la première. Encore une fois, dans cette construction il y a présupposition que la ligne temporelle créée est équivalente à l'état des choses avant le voyage dans le temps. Notons également qu'à chaque boucle du film, l'auteur respecte le principe de Novikov. Même si diverses versions des personnages coexistent dans une diégèse pour un certain temps, ces personnages s'arrangent en général pour s'éviter. Les complications débutent lorsque nous représentons la structure globale de l'histoire. Les figures 43-46 montrent des tentatives de représenter l'histoire dans son ensemble. L'une des grandes difficultés est qu'il ne nous est pas possible de savoir exactement combien de voyages sont faits par chaque personnage. Même dans la charte la plus complète (Figure 46), cette difficulté est soulignée (http://unrealitymag.com/index.php/2011/09/30/at-last-a-definitive-timeline-for-primer/). Cela nous empêche entre autres d'affirmer qu'il existe réellement neuf trames temporelles. Neuf semblent suffirent pour expliquer l'ensemble de l'œuvre, mais rien ne confirme l'exactitude de ce nombre. Le film Primer démontre bien la problématique du choix du médium dans la présentation d'une histoire. Le format du film permet de maintenir le suspense en construisant morceau par morceau la structure complexe de l'histoire alors que le choix d'une présentation sous forme similaire à la bande dessinée à l'aide de courbes paramétrées permet sa compréhension en profondeur.

La plupart des témoignages sur le film indiquent que malgré un visionnement assidu et une consultation des différentes constructions schématisées de l'histoire, la compréhension du film demeure incomplète. Le choix du recours à une cartographie de l'histoire semble la solution commune afin de

[41] http://en.wikipedia.org/wiki/File:Time_Travel_Method-2.svg et http://www.terminally-incoherent.com/blog/2008/08/22/primer-the-movie/

pallier ce manque de clarté de l'histoire. Malgré quelques détails qui demeurent impossibles à confirmer, l'ensemble de l'histoire prend une plus grande valeur, lorsque transposée en bande dessinée.

Le film *Triangle* relate l'histoire de Jess et un groupe d'amis qui partent en voilier sur l'océan. Après une terrible tempête, ils sont rescapés par un navire étrange. Un meurtrier est présent sur ce navire et Jess doit réussir à survivre. Or, plus tard dans le film on voit que le même groupe d'individus, des doubles d'eux-mêmes, a subit le même sort et sera récupéré par le même navire. Après de nombreuses complications, Jess tombe à l'eau et se réveille sur une plage. Elle retourne alors à son domicile ou elle rencontre une autre version d'elle-même qu'elle assassine. Elle prend ensuite la voiture pour aller jeter le cadavre à la mer, mais a un accident sur le chemin. Désorientée, elle marche jusqu'au voilier où l'attendent ses amis et repart au large comme au début du film. Dans ce cas, il y a une boucle principale de l'histoire qui est celle de la version de Jess que l'on suit tout au long du film. Il existe également deux autres versions de Jess importante : celle du domicile qui meurt à chaque cycle, ainsi que celle que l'on voit venir au bateau durant le film. Le réalisateur laisse la trace que cette version de Jess est vouée à une destinée différente, celle de mourir sur le navire, en montrant le groupe d'individus arriver à la droite du navire plutôt qu'à la gauche comme initialement. De plus, il est à souligner que différents moments de la boucle principale se superposent sur le navire, c'est-à-dire que deux versions de Jess de la boucle principale sont présentes sur le navire pour un certain temps. Le film ne semble pas avoir suscité le même intérêt que *Primer*, mais sa complexité en boucle justifie une présentation de l'histoire en courbes paramétrées. Nous offrons des interprétations simplifiées en la figure 47.

Finalement, le film *Looper* (2012) de Ryan Johnson utilise également de nombreuses boucles temporelles ainsi que plusieurs lignes que temps. Le diagramme de Rick Slusher (Figure 48) utilisée pour décrire la structure de l'histoire du film représente cette fois la notion de sculpture narrative. En effet pour minimaliser le nombre de croisements inutiles entre les courbes paramétrées, Slusher utilise une représentation tridimensionnelle des différentes courbes présentes dans l'histoire[42]. Cette construction devient littéralement une sculpture narrative; narration dont le choix de la surface de présentation devient important à sa compréhension.

Nous avons exploré dans ce chapitre deux conséquences de la complexification de la structure du graphe sur lequel nous pouvons construire ou concevoir une histoire. Une première conséquence est l'apparition de cycles sur le graphe non orienté, ce qui n'implique pas obligatoirement que l'histoire, elle, contiendra un cycle. Par concaténation de segments rectilignes, nous avons vu que la création de cycles n'oblige pas l'utilisation d'un temps angulaire tel que présenté au premier chapitre. Une seconde conséquence est l'éventuelle déplanarisation de la structure de l'histoire. Cette double complexification de la structure macroscopique de l'histoire nous oblige dès lors à reconsidérer le concept de canevas infini : dans le cadre où nous voulons construire sur un tel échafaudage, le choix de considérer le canevas infini au delà d'une vision planaire. Nous avons vu aussi que, avec une complexification de l'histoire, le choix du médium devient crucial pour favoriser sa compréhension telle qu'il en a été avec les chartes du temps de l'histoire pour les films *Primer*, *Source Code* et *Looper*. L'analyse des structures planaires permet de piger dans un bagage de théorèmes qui peuvent enrichir l'arthrologie des cases. Nous avons brièvement vu comment les notions de coloriage des sommets et des arêtes peuvent servir cette idée. Notons qu'une panoplie d'autres notions pourraient agrémenter la recherche dans cette direction : dualité, double recouvrement par cycle, *spanning tree* et bien d'autres. À l'inverse, le choix de travailler sur un graphe non planaire mène également à de nouvelles possibilités, nous analysons ce cas dans le prochain chapitre.

[42] http://www.film.com/movies/looper-infographic

# Chapitre 4 : Écrire sur différentes surfaces.

Dans ce chapitre, notre modèle sert principalement à l'exploration de nouvelles potentialités du médium de la bande dessinée ou des histoires en images lorsque nous les superposons sur différentes surfaces. La grande rareté des artistes travaillant sur les surfaces que nous étudions explique cette tendance.

Nous avons jusqu'ici présenté nos histoires sur une seule et même surface; le plan. Nous explorons à présent différentes surfaces sur lesquelles nous pouvons inscrire des graphes et par conséquent sur lesquelles nous pouvons écrire des histoires. Nous utiliserons une définition de surface équivalente à celle acceptée en topologie[43] (Munkres, p.225), c'est-à-dire que la surface ressemble localement au plan. Dans notre cas, cela permet simplement d'admettre que nous pouvons partout y dessiner comme nous pouvons dessiner sur un plan dans le but d'y présenter des histoires à l'aide d'images. En topologie, le terme 2-manifold est généralement utilisé[44]. Une surface peut-être bornée ou non, par exemple la sphère est bornée, mais le plan cartésien ne l'est pas puisqu'il existe au moins une direction vers laquelle elle se prolonge indéfiniment. Notre définition de surface permet entre autres d'avoir des surfaces qui ne peuvent pas s'insérer dans un monde tridimensionnel sans se croiser elle-même. La fameuse bouteille de Klein, proposée par le mathématicien allemand Félix Klein, est construite de la sorte (Barr, p.38). Heureusement, nous pouvons représenter ces surfaces en deux dimensions à l'aide des polygones fondamentaux de ces surfaces[45]. Nous construisons ces polygones de sorte qu'en donnant à chaque arête une orientation et en joignant deux à deux ces arêtes nous pouvons

[43] Celle d'un espace de Hausdorff avec une base dénombrable de sorte que le voisinage de tout point soit homéomorphe à un sous ensemble du plan cartésien.

[44] Pour plus d'informations, nous recommandons le site suivant: http://www.map.mpim-bonn.mpg.de/2-manifolds

[45] Pour une lecture plus complète sur le sujet : http://www.math.cornell.edu/~mec/Winter2009/Victor/part4.htm

théoriquement construire ces surfaces indépendamment du nombre de dimensions requises pour éviter sa propre intersection. Nous reviendrons sur ces détails.

La première extension en trois dimensions apparaît naturellement avec la juxtaposition de plans dans l'espace. En 2013, l'artiste Daniel Merlin Goodbrey exposa son histoire *Black Hats in Hell* sur plusieurs murs (Gravett, p.136-137) (Figure 1), œuvre qui s'apparente en ce sens au projet de la plus grande bande dessinée au monde créée en 2012 par 11 écrivains et 111 dessinateurs de l'école de dessin Émile Cohl à Lyon[46]. Dans ces deux œuvres, le canevas reste localement planaire, mais l'ensemble du canevas est une composition de différents plans, en l'occurrence de murs ou de surfaces de lieux publics telles les clôtures. Il existe une panoplie d'autres surfaces tridimensionnelles qui peuvent servir de canevas autre que la juxtaposition de plan.

Nous débutons avec la sphère puisqu'elle se visualise aisément. L'idée de présenter ces scènes sur une sphère a déjà été utilisée par l'artiste Dick Termes. L'artiste peint des scènes qui seraient perçues de l'intérieur d'une sphère imaginaire entourant un observateur dans un monde diégétique. L'illusion de regard est recréée par les points de fuites qu'il dispose sur cette sphère en imaginant les directions vers lesquelles porte le regard de l'observateur dans la diégèse. Ces scènes imaginées sont ensuite peintes sur l'extérieur d'une sphère. Le résultat, nommé *termesphere* par l'artiste, est donc une représentation *inside-out* de cette scène imaginée (Termes, p.243-244). En acceptant la possibilité d'avoir des bandes dessinées en une seule case, nous pouvons considérer les *termespheres* comme des bandes dessinées sans cadre, ou dont le cadre est délimité directement par l'espace de la sphère. (Figure 2) Cela est une conséquence de l'aspect borné de la sphère. Nous pouvons imaginer une série de bandes dessinées à même une sphère. Scott McCloud a déjà entrevu cette idée, mais sans toutefois en offrir des exemples complets. Dans *Understanding Comics*, il présente des sphères sur lesquelles des cases de bande dessinée

[46] http://stumptowntradereview.com/2012/04/the-5-largest-comics-in-the-world/

se trouvent; soit des portraits de personnages importants de l'histoire du médium y figurent, soit il y résume les concepts importants de son ouvrage (McCloud 1993, p. 4 et 214). (Figure 3) McCloud se sert de cette image pour représenter le monde de la bande dessinée, nous constatons tout de même que l'idée d'y dessiner des histoires et réalisable. Marc-Anthoine Mathieu pousse un peu plus loin cette hypothèse en laissant comprendre qu'en fait, la bande dessinée qui se lit dans La 2,333$^{e}$ dimension de la série des Julius Corentin Acquefaques existe en fait sur une sphère et qu'il en est de même pour les autres ouvrages de bande dessinée comme celui de *La Mouche* de Lewis Trondheim (Mathieu 2004, p.33-35). Ceci consiste en une première exploration d'une histoire en plusieurs cases utilisant la sphère comme support. Mathieu n'insiste pas sur la justification de l'usage de ce support pas plus qu'il fait un usage propre de la géométrie et de la topologie de la sphère, ce à quoi nous remédions dans les prochains paragraphes. (Figure 4)

Nous pouvons représenter une sphère centrée à l'origine de l'espace euclidien à trois dimensions par l'équation à trois variables $x^2+y^2+z^2=r^2$ pour $r$ un rayon donné (Pressley, p.61). L'expression de la sphère en une équation a permis nombre d'explorations. Notamment, les mathématiciens et cartographes ont travaillé sur plusieurs relations bijectives entre le plan et la sphère, c'est-à-dire sur ces méthodes de projection de la sphère vers le plan et vice versa. La projection entre les deux surfaces peut conserver ou modifier certaines caractéristiques. Si deux projections sont équivalentes, c'est que les aires sont conservées alors qu'elle est dite isométrique si les distances sont conservées (Pressley, p.106-121). Euler a démontré qu'il n'existe pas de projection isométrique entre la sphère et le plan (Pressley, p.234). Finalement, si les angles d'intersection des courbes sont conservés, nous disons que la projection est conforme. Une projection très utilisée et probablement connue depuis l'antiquité se nomme la projection stéréographique (Snyder, p.154). La bijection s'obtient en situant le Pôle Sud d'une sphère sur un plan et en traçant des rayons à partir du Pôle Nord qui se dirigent vers le plan. Chaque rayon croise la sphère en un point et poursuit vers le la plan jusqu'au point où il est projeté (Gamelin, p.11-13). (Figure 5)

La projection stéréographique est une transformation conforme, c'est-à-dire qu'elle conserve l'angle d'intersection entre deux courbes d'une surface à l'autre. Cette propriété est d'ailleurs celle qui a permis à divers photographes d'obtenir des images représentant l'espace tridimensionnel de manières novatrices et cohérentes (Lambert, p.44).

Dans notre cas, étudions comment la projection d'une surface vers une autre permet de jouer avec la structure de l'histoire. Dans la projection stéréographique, le point à l'infini dans toutes les directions est projeté sur le Pôle Nord de la sphère. Nous pouvons à l'aide de cette propriété donner un deuxième sens à un graphe en étoile. Reprenons l'exemple de l'histoire en étoile dans laquelle les personnages s'éloignent d'un évènement dramatique. En projetant ce graphe vers la sphère, les branches vont à la fois s'éloigner de l'incident, au Pôle Sud, mais les arêtes vont également toutes se diriger vers le Pôle Nord. Alors que la version de cette histoire sur le plan indique que les personnages se quittent à tout jamais, la version sur la sphère laisse sous-entendre qu'ils vont se recroiser malgré tout. Cet exemple démontre l'importance du choix de la surface sur laquelle une histoire en images est présentée.

La particularité d'être conforme permet également de travailler avec les spirales telles que vues précédemment. Pour ce faire, nous devons définir un type de courbes sphériques nommées loxodromies. Celles-ci croisent les méridiens avec un angle constant (Pressley, p.83). Si cet angle diffère de 90 degrés, nous obtenons une double spirale sur la sphère. En effet, la courbe s'enroule indéfiniment autour de chaque Pôle sans jamais les atteindre. Maurelius Escher avait remarqué la beauté de ces courbes et les œuvres *Surface sphérique avec poissons* et *Spirales sphériques* toutes deux datant de 1958 en font l'usage (Locher, p.231-232). (Figure 6) Pour un usage en bande dessinée, plusieurs options s'offrent à nous. Soulignons premièrement que ces courbes deviennent également des spirales, lorsque projetées sur le plan. Si nous prenons une loxodromie partant du Pôle Sud au Pôle Nord, sa projection sur le plan résulte en une spirale qui s'enroule autour de l'origine et qui diverge vers l'infini. (Figure 7) En appliquant une rotation à cette sphère avant d'appliquer la projection stéréographique nous pouvons construire des spirales à deux points de convergences sur le plan tel qu'étudié au deuxième chapitre. En tournant légèrement la sphère, nous déplaçons le Pôle Nord; or, la projection stéréographique s'effectue malgré tout à partir du point le plus élevé de la sphère. Il en résulte que le Pôle Nord autour duquel s'enroule la loxodromie n'est plus projeté vers le point à l'infini. Par conséquent, cette section de la spirale devient également visible sur le plan (Mumford, Series et Wright, p.62-67) comme nous pouvons l'observer dans la photographie de Paul Nylander. (Figure 8). L'artiste Huang Yong Ping, présenta une structure de la sorte pour son œuvre *Carte du Monde*. L'artiste utilise un dallage de la sphère par une loxodromie qu'il déroule ensuite pour en offrir une version strictement planaire. Sur cette loxodromie déroulée, il situe une panoplie de désastres futurs aux endroits où ils auront théoriquement lieu sur le globe (Rosenberg et Grafton, p.216). Par la relation des désastres avec leurs lieux d'occurrences, cette œuvre s'articule comme récit-carte sur une loxodromie lui-même dallage de la carte. (Figure 9)

Nous constatons que plusieurs théorèmes valables pour le plan restent également valables pour la sphère. Le théorème de Jordan et le théorème de Kuratowski restent vrais lorsque leur énoncé concerne la sphère plutôt que le plan (Bondy, p.247). Dans le cas du théorème de Jordan, son application sur la sphère amène tout de même un élément nouveau. Sur le plan, une courbe simple fermée sépare le plan entre l'intérieur et l'extérieur de la sphère. L'extérieur de la courbe est alors un espace infini, non borné. À l'opposé, le principe d'intérieur et d'extérieur peut perdre son sens sur la sphère. Tout d'abord, les deux espaces disjoints obtenus en traçant une courbe fermée sur la sphère sont tous les deux bornés. De plus, les grands cercles de la sphère séparent la sphère en deux espaces équivalents, c'est-à-dire les cercles de grandeur maximale de la sphère, dont l'équateur est un bon exemple, séparent la sphère en deux espaces d'aires égales. D'un point de vue topologique, nous pouvons considérer que la projection stéréographique avec l'ajout du point à l'infini qu'est le Pôle Nord est un exemple de compactification d'une surface (Munkres, p.185). La compactification permet de passer à une surface d'aire infinie à celle d'une aire finie.

Ces courbes simples fermées peuvent alors servir à présenter des histoires au sens vaguement différent. Par exemple, prenons le cas d'une histoire cyclique sur le plan où un personnage est pris sur un cercle à l'intérieur du cercle se trouve le paradis et à l'extérieur duquel se trouve l'enfer. L'effet d'avoir un espace infini relié à l'enfer contrairement à un petit espace restreint pour le paradis dirige la lecture du lecteur. Il est difficile et contraignant de se garder une place au paradis alors que tout écart de conduite mène vers les flammes de l'enfer qui emprisonnent la vie du personnage. En représentant cette même histoire sur un grand cercle de la sphère, il est possible de balancer cette lecture puisque les deux aires associées au paradis et à l'enfer seront équivalents.

La construction d'histoires sur la sphère génère des structures difficilement représentables sur le plan. Par exemple, prenons un cube, doublons chacune de ses arêtes et déformons le tout pour obtenir une sphère. (Figure 10) Nous obtenons sur la sphère un graphe équivalent à six cercles opposés en paires comme le sont les faces du cube. Cette construction permet d'opposer les cycles antipodaux d'une manière qui serait impossible sur le plan. La construction d'histoire sur les sculptures narratives s'avère donc un outil qui peut apporter des informations supplémentaires à la narration.

Tout comme dans le cas du plan, nous pouvons envisager le recouvrement de la sphère par des cases, tout comme dans la présentation de McCloud, ou par des histoires cycliques. L'analyse des recouvrements de la sphère devient rapidement plus complexe que celle de l'analyse du plan, mais puisque ces recouvrements doivent se faire à l'aide d'un nombre fini de figures isométriques, cela en facilite l'étude (Gao, Shi et Yan, p.2). Sans résumer l'ensemble des résultats et des différentes classifications existantes, nous soulignons quelques particularités. En premier lieu, la géométrie sur la sphère est un exemple de géométrie non euclidienne. Cela implique que la somme des angles d'un triangle n'est pas obligatoirement de 180 degrés, en fait cette somme est supérieure à 180 degrés (Bonola, p.136). Cette caractéristique nous permet de construire des dallages réguliers de la sphère qui seraient impossibles sur le plan, soit parce que les figures ne peuvent pas y exister, soit par ce que ces figures ne permettent pas un dallage du plan. Imaginons un dallage de la sphère à l'aide de triangles isocèles possédant deux angles droits. Évidemment, de tels triangles s'avèrent impossibles sur le plan. Sur la sphère il est possible de retrouver ces triangles si nous prenons un sommet comme étant le Pôle Nord et les deux autres points sur l'équateur, cela résulte de la compactification du plan à l'aide du point à l'infini. Si nous appliquons le même principe à partir du Pôle sud, nous trouvons que le résultat sur le plan après la projection stéréographique est un triangle du point de vue topologique, mais pas du point de vue géométrique puisque l'un de ses côtés est un arc de cercle. Dans les deux cas, le triangle sur la sphère est isocèle puisque la distance sur la sphère de l'équateur aux Pôles est constante et il est rectangle puisque le croisement des méridiens et de l'équateur est perpendiculaire. Nous construisons le dallage en deux temps. Premièrement par juxtaposition de ce triangle dans un hémisphère jusqu'à ce que celui-ci soit couvert et ensuite nous procédons de même pour le second hémisphère[47]. (Figure 11)

La géométrie non euclidienne de la sphère permet donc des pavages réguliers impossibles sur le plan. Des pentagones réguliers peuvent daller la sphère, il suffit de regarder de dodécaèdre pour s'en convaincre. (Figure 12) La construction d'un tel dallage sur le plan demeure infaisable. Nous avons vu également qu'il est possible de recouvrir le plan à partir d'histoires en spirales. Si une seule spirale suffit pour le plan, il en est de même pour la sphère. À la différence du plan, nous pouvons recouvrir la sphère à l'aide d'un nombre arbitraire de spirales disjointes : nous pouvons tracer un nombre quelconque de loxodromies parallèles qui s'enroulent aux deux pôles sans jamais se croiser.

Le théorème de Kuratowski tient aussi pour la sphère, c'est-à-dire qu'un graphe sera planaire sur la sphère si et seulement s'il ne contient pas les graphes complets bipartis sur trois sommets ou le graphe complet sur cinq sommets, $K_{3,3}$ et $K_5$. Tout graphe planaire sur le plan l'est aussi sur la sphère et vice versa

[47] Une série de dallages de la sphère peut être consultée sur le site http://cs.stmarys.ca/~dawson/images4.html

(Bondy, p.247). L'avantage de l'utilisation de la sphère peut encore être celui de l'utilisation de l'espace tridimensionnel.

Considérons la sphère dans une perspective topologique. Du point de vue de cette théorie, la forme exacte des objets n'importe pas et si une forme peut être obtenue à partir d'une autre par le biais d'étirements, écrasements et torsions, nous disons que ces figures sont homéomorphes. Les opérations proscrites sur ces objets sont les coupures, collages et perçages. Par conséquent, une sphère est homéomorphe à une infinité de figures tels le cube, l'ellipsoïde et même comme souligné à la blague par certains, à un lapin[48]. En fait, toute surface bornée sans trou sera homéomorphe à la sphère. La topologie traite des invariants topologiques, c'est-à-dire des caractéristiques partagées par tous les objets homéomorphes entre eux (Barr, p.5). La caractéristique d'Euler est l'un de ces invariants topologiques qui relie entre eux le nombre de faces, de sommets et d'arêtes et d'un graphe planaire sur une surface. Initialement, cette relation entre les faces, les arêtes et les sommets d'un graphe fut décrite seulement pour décrire les polyèdres (Barr, p.10), mais il se trouve que cette formule s'applique à tout graphe planaire connecté (Bondy, p.259). Antoine-Jean Lhuilier en généralisa la forme pour en donner une version qui s'applique à toute surface bornée (Pickover, p.67). L'utilité d'une telle relation est de permettre de vérifier si un graphe est planaire puisqu'un graphe qui ne respecte pas cette caractéristique ne peut être planaire. Nous pouvons de cette manière démontrer que le graphe biparti complet sur deux ensembles de trois sommets ne peut être planaire (Bondy, p.260). Trivialement, nous constatons que tout graphe planaire sur la sphère l'est également sur toute surface homéomorphe à celle-ci.

Les exemples de bande dessinée produite sur des surfaces homéomorphes à la sphère semblent pratiquement inexistants. Le seul exemple qui s'en rapproche apparaît, quelque peu comme la sphère de McCloud, en pavage d'un dragon par des cases de bandes dessinées par Jim Woodring sur la couverture

[48] http://pyramidbeach.com/tag/homeomorphic/ et http://emdinger195.blogspot.ca/2009/06/poincare-conjecture.html

de son ouvrage *The Portable Frank* (2008). (Figure 13) La créature en question n'apparaît pas dans l'ouvrage en soi. Elle n'est pas sans remémorer la gravure *The Remonstrant Snake* présentée par Kunzle qui présente sur un grand serpent les conspirateurs de la fraternité remonstrante (Kunzle, p.58-60). (Figure 14)

Une autre surface populaire qui commence à attirer l'attention des artistes est le ruban de Möbius. Le ruban existe depuis l'Antiquité; le philosophe Lao Tseu l'avait déjà décrit pour en faire une représentation de l'infini (Cazenave, p.731). Le ruban est généralement nommé d'après le mathématicien allemand August Ferdinand Möbius qui l'étudia au 19e siècle. Un autre mathématicien du nom de Johann Benedict Listing en fit la découverte 1958, mais il approfondit moins ses recherches que Möbius ce qui explique son appellation (Pickover, p.28). Nous pouvons construire le ruban de Möbius à partir d'un simple rectangle. Il suffit de tourner l'une de ses extrémités de 180 degrés et de le coller à l'autre extrémité du rectangle (Barr, p.23-25). (Figure 15) La surface résultante est bornée et ne possède qu'un seul côté. Effectivement, en traçant une ligne le long du rectangle nous passons sur le devant et l'arrière de la bande. Pour cette raison nous disons que cette surface est non-orientable (Pressley, p.76-77) et nous verrons plus loin qu'il existe en faire une infinité de surface de la sorte. En suivant la bordure du rectangle nous trouvons également que cette surface ne possède qu'une arrête, cette arrête consiste en le cadre de cette surface, cadre qui la rend bornée (Barr, p.24). Il possède une caractéristique d'Euler de zéro.

Le ruban de Möbius est probablement l'une des figures mathématiques les plus connues et son utilisation passe de la prestidigitation à la physique (Gardner 1956, p.70-71). Dans son livre *The Möbius Strip*, Clifford Pickover démontre l'ampleur de cette popularité autant en ingénierie, qu'en physique et dans les arts (2006, p.xvii-xix). Parmi les nombreux artistes qui se sont intéressés à cette surface, le nom d'Escher apparaît encore. Plusieurs de ses gravures représentent d'une manière ou d'une autre un ruban de Möbius ou un espace inspiré par celui-ci (Locher, p.212, 248 et 260) (Figure 16). Le ruban a aussi motivé la construction de nombreuses sculptures par Max Bill, Keizo Ushio, Bruce White, Enrique Carbajal G.

Sebastián, et plusieurs autres (Friedman 2007) (Luecking 2007) (Carbajal 1975) (Figure 17). Si l'utilisation première de Lao Tseu en était pour représenter l'éternité, ce mandat s'est depuis élargi; «It has become a metaphor for change, strangeness, looping, and rejunevation» (Pickover, p.xviii).

Son utilisation dans la construction d'histoires apparaît également en littérature et plusieurs structures d'histoires cycliques sont considérées comme étant des rubans de Möbius. Pickover présente une panoplie d'œuvres littéraires reliées au ruban de Möbius (Pickover, p.179-187). Certaines, comme *No Sided Professor* de Martin Gardner ou *The Wall of Darkness* d'Arthur C. Clark, font apparaître le ruban comme objets dans la diégèse (Pickover, p.174-175). D'autres, telles *It's a Wonderfull Life* de Frank Capra ou *À la recherche du temps perdu* de Marcel Proust, présentent des boucles qui motivent l'auteur à les comparer au fameux ruban. Il en va de même pour le film *Donnie Darko* de Richard Kelly (Pickover, p.179-181). Nous devons préciser que rien n'indique que nous devons analyser ces histoires réellement comme des structures apparentées à des rubans de Möbius. Effectivement, ces histoires sont en fait strictement des histoires circulaires planaires, peu importe la surface sur laquelle nous les considérons. Ces histoires pourraient être également considérées comme étant inscrites sur des cylindres. Finalement, nous pouvons imaginer ces histoires comme étant écrites sur un ruban de Möbius, mais aucune des particularités qui distinguent le ruban de Möbius d'un simple segment de cylindre ne sont mises à profit. Pickckover discute également l'une de ses propres histoires dont il présente le schéma sur un ruban de Möbius (Pickover, p.183).

Les stratégies propres à la surface du ruban de Möbius apparaissent réellement avec leur utilisation de certains auteurs de bandes dessinées. Afin de bien comprendre ces différentes utilisations, nous allons distinguer deux cas particuliers. Premièrement, le ruban de Möbius peut apparaître comme objet tridimensionnel dans la diégèse. La construction de Killdorfer dans le troisième ouvroir de l'OuBaPo s'apparente aux histoires décrites par Pickover puisqu'elle ne sert qu'à présenter les cogitations philosophiques cycliques d'un personnage (OuBaPo 2000, p.6). (Figure 18) Or, l'idée de Killdorfer peut être légèrement agrémentée afin d'obtenir un usage propre au ruban de Möbius. Alan Moore en fait une telle utilisation dans le tome trois de sa série *Promethea*. (Figure 19) Comme le mentionne Di Liddo, *Promethea* est «*a self-reflexive deliberation about the power of narration* » (2009, p.87) et l'utilisation du ruban participe clairement dans cette optique. En discutant de l'infini, les personnages de Sophie et Barbara se retrouvent à marcher sur un ruban de Möbius (Di Liddo, p.93). Dans cette construction les différents moments de l'action sont à la fois synchrones et distincts, c'est-à-dire qu'ils ont lieu à la fois au même moment et à des moments séparés. Par exemple, en lisant la planche du point supérieur gauche et en suivant les personnages, le second moment souligne la synchronicité : Sophie mentionne qu'elle entend des bruits sous ses pieds, ce bruit vient en fait du même personnage  marchant plus tard et plus loin sur le ruban. De même, à deux reprises les personnages s'aperçoivent au loin sur le ruban à un moment qui est donc à la fois postérieur et synchrone. La synchronicité des éléments de la scène n'est en rien une particularité du ruban, nous pourrions très bien imaginer des personnages qui marchent autour d'un cylindre dans plusieurs moments à la fois distincts et synchrones. Ce qui semble justifier l'utilisation du ruban est la présence d'un cycle de paire avec des moments synchronisés de part et d'autre du ruban, comme il en est le cas lorsque la protagoniste entend ses propres sons sous le ruban. La non-orientabilité du ruban est ici mise au service de la narration. Nous devons noter qu'encore une fois, cette construction pourrait être possible à l'aide d'une sphère ou d'un cylindre. L'utilisation du ruban est alors principalement symbolique. Le tome *Le début de la fin* de la série des Julius Corentin présente aussi un ruban de Möbius dans sa diégèse (Mathieu 1995, p.11). Cette présence tente d'outrepasser la simple présence physique pour référer également à la structure globale du tome qui possède cette double orientation; le milieu du livre est le lieu de rencontre de deux sens de lecture qui se lise à un demi-tour de différence. Cette mise en opposition, souligné de surcroît par la dichotomie du noir et blanc qui se complètent dans les deux segments d'histoire, est une référence à une autre utilisation du ruban de Möbius qui apparaît à mi-chemin entre les deux prochains types que nous discutons.

Le second type d'utilisation apparaît lorsque le ruban de Möbius est extra-diégétique, mais confiné à l'intérieur de la bande dessinée où il apparaît comme support de l'histoire. Comme dans le cas des différentes histoires analysées par Pickover, certaines ne font pas un usage spécifique de ruban de Möbius et auraient pu simplement être représentées sur le plan ou le cylindre. Le support en ruban de Möbius ne fait qu'ajouter un élément esthétique à l'histoire. C'est le cas pour les histoires *Möbius Comic Strip* de Mark Heat[49], *The Modern World : Moebius Strip Foreign Policy* de Tom Tomorrow[50] et celui de Brian MacLachlan[51]. (Figures 20-21)Dans le premier cas, l'histoire n'est pas circulaire et se termine à la troisième case. Étrangement, cette troisième case apparaît du mauvais côté de la bande, comme si l'histoire sautait soudainement d'un côté à l'autre du ruban. De plus, la bande n'apparaît pas clairement comme celui de Möbius; le titre seulement indique cette propriété. L'histoire de Tom Tomorrow utilise clairement la visualisation d'un ruban de Möbius, mais encore une fois l'histoire semble sauter de côté et de l'autre du ruban sans explication. Le ruban présente la logique circulaire du président George Bush à propos de sa politique d'invasion de l'Iraq. Cette fois l'histoire est cyclique, mais ne fait pas usage des caractéristiques propres au ruban de Möbius. Encore une fois, l'histoire saute de côté à l'autre du ruban sans explications et nous pouvons en déduire que certaines sections du ruban restent blanches. Finalement, MacLachlan fait également basculer l'histoire de part et d'autre du ruban. (Figure 22)Dans les deux derniers cas, les auteurs omettent également un élément en plus de ne pas utiliser la non-orientabilité. Lors de la construction du ruban, lorsque nous tournons une extrémité de 180 degrés nous obtenons que les scènes de chaque côté du ruban sont verticalement inversées. Cela rend la lecture confuse lorsque l'histoire bascule d'un côté à l'autre. Ces auteurs ne semblent pas considérer ce fait.

[49] Il est possible de trouver cette histoire à l'adresse suivante : http://www.neatoshop.com/product/Mobius-Comic-Strip
[50] http://www.shroomery.org/forums/showflat.php/Number/1881574
[51] http://www.brianmcl.com/moebius-comic-strip/

Le magazine *Nick Mag* a dédié un numéro seulement aux bandes dessinées construites sur des rubans de Möbius[52]. (Figure 23)Cette fois les histoires sont réellement adaptées à la forme du ruban. Les histoires restent malgré tout de simples histoires cycliques dessinées sur un ruban de Möbius sans faire un usage particulier des caractéristiques propres au ruban Möbius. Il en est de même pour l'histoire de Lécroart offerte à en vœu en 2008 à *L'Association* (Groupe Acme, p.96-97). (Figure 24)

Certains auteurs ont fait un usage du ruban de Möbius réellement en lien avec sa non orientabilité. Analysons en premier lieu un exemple apparu dans *xzcd* nommée *Möbius battle*. Cette fois, afin d'éviter le retournement des scènes de haut en bas, l'auteur présente les cases dont la lecture se fait perpendiculairement à la bordure. Il utilise la non-orientabilité du ruban en présentant l'histoire sur une surface transparente de sorte que les mêmes scènes sont lues à deux reprises, mais inversées comme dans un miroir[53]. (Figure 25)La bande dessinée proposée par Jim Woodring est tout aussi ingénieuse. Dans son histoire, un personnage traverse littéralement le ruban pour se retrouver de l'autre côté, mais par la propriété d'être non orienté il demeure tout de même dans la même histoire et il ne fait que rentrer une fois de plus dans la boucle[54]. (Figure 26)

En considérant les histoires sous leur forme de graphe planaire, le ruban de Möbius offre de nouvelles options. Par exemple, nous pouvons tracer le graphe complet biparti sur deux groupes de trois points $K_{3,3}$ ou le graphe $K_5$ sur le ruban de Möbius de manière planaire (Pickover, p.94). (Figure 27 et 28) Il serait donc possible de construire des histoires planaire sur ce graphe si ce graphe est présenté sur le ruban de Möbius.

Une famille de graphes qu'il est possible de présenter de manière planaire sur le ruban de Möbius sont les échelles de Möbius. Ces graphes sont en fait formés d'un cycle possédant un nombre pair de

[52] http://nickmag-comics.livejournal.com/16577.htm
[53] https://xkcd.com/381/
[54] https://www.fantagraphics.com/rarities-and-miscellany-by-various-artists/moebius-strip-comic-by-jim-woodring-video-photo-animation.html

sommets qui sont reliés par une arête aux sommets exactement opposés à eux. (Figure 29) Si le nombre de sommets est de huit, il porte le nom particulier de graphe de Wagner. Ces graphes sont facilement représentables sur un ruban de Möbius par une simple échelle qui suit le contour du ruban. (Figure 30) En fait, nous pouvons les représenter sur le plan à l'aide d'une seule intersection non planaire (Guy et Harary, p.494-495). L'avantage d'une telle construction est de jumeler deux à deux des éléments d'un cycle. De ce fait nous pouvons construire l'histoire suivante : à chaque moment d'une histoire, un personnage s'imagine comment se rendre dans une situation idéale dans laquelle il se retrouve lui-même plus tard dans l'histoire. Il existe un équivalent au théorème de Kuratowski pour le ruban de Möbius. En 1980, Dan Archdecon identifia les 35 graphes d'obstruction[55] pour le critère de planarité (Gagarin, Myrvold et Chambers, p.152), autrement dit les graphes qui, si présents en tant que mineurs, rendent la planarité impossible (Delahaye avril 2008, p.97).

Une autre surface sur laquelle il est intéressant de présenter une histoire est le tore. Nous pouvons construire le tore en rejoignant les deux paires de côtés d'un rectangle (Figure 31). Encore une fois, certains graphes qui ne sont pas planaires sur le plan le sont sur le tore. (Figure 32-34) Du point de vue topologique, le tore se distingue de la sphère par la présence d'un trou. Cela implique qu'une boucle ne peut pas obligatoirement être comprimée en un seul point. De plus, le théorème de Jordan ne tient plus pour cette surface. En effet, comme le démontre la figure 35, un cercle qui contient le trou du tore en son centre ne sépare pas la surface en deux espaces, il en de même pour un cercle perpendiculaire à l'axe de rotation du tore (Barr, p.17). L'ensemble d'obstruction du tore lui contient au moins 16 629 mineurs (Gagarin, Myrvold et Chambers, p.152).

[55] Il existe en fait plusieurs manières de définir les ensembles d'obstruction qui impliquent des nombres différents d'obstructions, par exemple les obstructions topologiques et les obstructions de graphes mineurs. Les résultats donnés ici concernent les obstructions de graphes mineurs. Le site de Dan Archdeacon présente ces ensembles d'obstructions. (http://www.emba.uvm.edu/~darchdea/graphs/)

Par les principes d'étirements propres à la topologie, un tore est équivalent à une sphère avec une poignée. Or, il est possible d'ajouter un nombre arbitraire de poignées et nous obtenons des surfaces équivalentes à des tores avec le même nombre de trous. Cette méthode d'ajout de poignées à la sphère permet de construire l'infinité des surfaces compactes orientables et chacune de ces surfaces possède une caractéristique d'Euler différente. Il en résulte que chacune de ces surfaces permet un ensemble de graphes planaires différents. Inversement, il est possible à partir de n'importe quel graphe de trouver une surface sur lequel il est possible de le superposer de manière planaire en débutant par représenter ce graphe sur la sphère et en ajoutant une poignée à chaque fois qu'un croisement est inévitable (Gross et Tucker, p.25)(Figure 36). Évidemment, il est possible d'effectuer des dallages de chacune de ces surfaces puisqu'il est possible de faire une triangulation de toute surface (Francis et Weeks, p. 394).

Il existe toutefois une seconde classe infinie de surfaces bornées, celle des surfaces non orientables comme la bouteille de Klein. Nous pouvons obtenir cette surface à partir du polygone fondamental de la figure 37 en rejoignant les paires de côtés opposés selon l'orientation donnée. Nous ne pouvons pas représenter cette surface en trois dimensions sans éviter un croisement qui n'est pas réellement une intersection de la surface avec elle-même. (Figure 38) Il existe une infinité de surfaces non orientables que nous pouvons obtenir à partir de la sphère et du ruban de Möbius. Nous avons préalablement mentionné que la bordure du ruban de Moebius est en fait un cercle, pour obtenir la bouteille de Klein nous pouvons y faire un trou circulaire et y coller la bordure circulaire du ruban de Möbius. Nous pouvons obtenir l'infinité des surfaces non orientables en collant un nombre arbitraire de rubans de Möbius sur la sphère[56] (Gross et Tucker, p.120). (Figure 39)

---

[56] Pour plus de détails sur la preuve de cette classification voir aussi l'article : Francis, George K. and Jeffrey R. Weeks. «Conway's ZIP Proof». American Mathematical Society, 106 (1999), p. 393-399.

L’avantage des polygones fondamentaux est donc premièrement de pouvoir représenter de manière planaire n’importe quelle surface, aussi complexe soit-elle. Nous pouvons alors reconstruire n’importe quelle histoire à partir d’une sculpture narrative. L’avantage de travailler sur des surfaces non orientables est en fait d’étendre la notion de fiction non plus seulement au contenu de l’histoire, mais également à sa forme. Si de plus nous prenons en compte les espaces intérieurs et extérieurs aux cycles de sorte à la combiner de par la non-orientabilité -comme les deux ‘’côtés’’ du ruban de Möbius sont reliés par la même opposition- certaines histoires ne sont représentables que sur des surfaces qui ne peuvent exister en trois dimensions.

Tout comme la forme d’une courbe peut influencer sa lecture, la forme de la surface sur laquelle un graphe et son histoire sont représentés peut être lourde de sens. Par exemple, le tore peut simplement prendre la forme d’un beigne ou bien il peut s’imbriquer en trois dimensions pour former le nœud gordien de la surface de la figure 40. Une vaste littérature sur l’effet des formes existe, principalement dans l’histoire et l’analyse de la sculpture. Une autre branche des mathématiques se dédie à la classification de ces surfaces : la théorie des nœuds.

La liste des surfaces non compactes est également infinie. Nous pouvons également utiliser ces surfaces comme canevas infini dans la construction de sculptures narratives. Certaines permettent des espaces vacants, comme la surface de Costa[57] (Figure 41), d’autres offrent différentes portions de plans dans diverses directions comme la surface de Scherk[58] (Figure 42) et finalement des surfaces peuvent, à la manière de la bouteille de Klein, se croiser elles-mêmes lorsque représentée en trois dimensions. C’est le cas pour les surfaces de Henneberg et d’Enneper (Pressley, p.227 et 214). (Figure 43) Ces surfaces mènent vers de nouveaux défis narratologiques.

---

[57] http://mathworld.wolfram.com/CostaMinimalSurface.html

[58] Pour une description formelle de cette surface : http://mathworld.wolfram.com/ScherksMinimalSurfaces.html

Comme le mentionne Paul Gravett dans *Comics Art*, en discutant le canevas infini dans sa forme initiale telle que proposée par McCloud; les dimensions de la bande dessinée « *could mutate beyond them into stranger, unpredictable configurations, akin to networks, subway systems, flow-charts, maps, atomic structures puzzles or mazes, traversables along multiple trails* » (Gravett, p.130) L'utilisation élargie du concept de canevas infini permet de travailler sur une infinité de surfaces ayant toutes des caractéristiques différentes. Encore une fois selon Gravett: *« it will always be human imagination that is the inexhaustible, the infinite canvas* » (Gravett, p.136). Nous avons vu comment l'utilisation de cycles diffère déjà beaucoup entre le plan, la sphère et le tore. La notion de sculpture narrative permet d'inclure autant les caractéristiques propres à l'histoire, l'arthrologie qu'implique naturellement le médium de la bande dessinée, les affects de la sculpture par l'utilisation de l'espace ainsi que les notions mathématiques principalement issues de la géométrie, de la théorie des graphes et de la topologie. Nous pouvons parfois représenter la surface sur laquelle s'écrit théoriquement l'histoire par une seconde surface; par exemple, nous avons vu qu'il est possible de représenter de manière planaire la bouteille de Klein même si celle-ci ne prend sa forme réelle qu'en quatre dimensions. Le canevas infini peut par conséquent être infini de trois manières différentes : par la densité du plan qui permet des zooms infinis, par l'utilisation d'une surface non compacte qui permet une expansion infinie et par le nombre infini de dimensions dans laquelle nous pouvons l'imaginer. L'utilisation des sculptures narratives permet d'explorer différentes narrations sous la lumière de ces diverses composantes. Dans ce chapitre, nous avons exploré un petit nombre de surfaces ainsi que quelques propriétés des graphes qui sont en lien avec la surface sur laquelle ils se trouvent afin de démontrer la pertinence de cette approche.

# Conclusion:

Dans ce mémoire, nous avons étudié les structures temporelles des narrations en les considérant comme sculptures narratives. Pour ce faire, nous avons limité notre recherche à l'analyse du temps de l'histoire tel que défini par Genette et nous avons modélisé des histoires en les considérant comme agencements de courbes paramétrées en graphes. Nous avons ensuite étudié comment la complexité de certaines constructions mène vers l'étude de la surface sur laquelle cette histoire est représentée. Par le fait même, l'étude des surfaces devient naturellement un outil servant la construction de telles structures. Nous avons nommées sculptures narratives la représentation d'histoires en suites d'images sur une surface. Le cas trivial étant le plan, nous avons étudié comment d'autres surfaces permettent de régler le problème de la planarité ou servir à des fins esthétiques.

Nous devons alors nous questionner en quoi les résultats de ce mémoire pourront soit mener vers de nouvelles recherches sur l'objet même, soit mener vers une nouvelle approche narratologique. En ce qui concerne les différentes recherches qui pourraient complémenter ce mémoire, plusieurs avenues sont possibles. Nous pourrions approfondir cette étude en construisant un plus grand nombre d'histoires et en incluant un plus grand nombre de théorèmes et définitions issues de la géométrie, de la théorie des graphes, de l'algèbre, de la géométrie différentielle, de la topologie et de la théorie des noeuds. Cet ajout servirait principalement à l'ajout de contraintes éventuelles dans la construction de sculptures narratives. Des considérations sur la réception de ces formes préalablement à la réception de l'histoire pourraient servir cette étude et guider le choix des formes.

Une deuxième avenue importante serait l'inclusion dans ce modèle du temps du récit. Par exemple, un temps d'histoire cyclique peut être représenté cycliquement dans le désordre afin de complexifier la lecture de ces histoires et favoriser la création d'intrigues. Une telle approche compliquerait considérablement notre modèle, mais ouvrirait la voie vers de multiples expérimentations. En effet, déjà la simple permutation de segments du temps de l'histoire peut alors être perçue comme la permutation de segments de surfaces. Nous pourrions par exemple construire un récit sur un cube Rubik dont il faudrait retrouver la forme initiale du temps de l'histoire.

Finalement, des études en cognition pourraient tenter d'évaluer l'influence de la lecture d'histoires complexes sur l'apprentissage des réseaux de concepts. Comme mentionné au premier chapitre, les vecteurs des schémas de Ryan sont des vecteurs d'incidences qui s'apparentent à des structures d'incidences logiques, c'est-à-dire que des évènements *A,B,C* peuvent mener vers des ''conclusions'' *D,E,F*. L'apprentissage de réseaux d'incidences de concepts et théorèmes pourrait donc être facilité par la mise en contact avec de telles structures dès un bas âge. Il resterait à mesurer la valeur réelle d'une telle hypothèse.

Une autre conséquence éventuelle est celle d'un appel à la collaboration entre diverses disciplines dans l'élaboration et la construction des sculptures narratives. La collaboration entre les mathématiques et les arts visuels existe déjà dans la pratique, surtout depuis l'arrivée de l'ordinateur, mais cette collaboration reste encore discrète dans l'étude théorique de l'art visuel. Quoique plusieurs ouvrages relativement récents existent sur les relations entre les mathématiques et les arts, principalement au niveau des formes, ces ouvrages prennent habituellement la forme de collections d'articles. Les nombreux livres publiés sous la direction de Michèle Emmer ou de Claude Bruter en sont de parfaits exemples. Le format de l'article possède l'avantage d'être formulé pour un lectorat relativement spécialisé et permet en ce sens d'inclure des résultats plus proprement mathématiques ainsi que des formules associées. En revanche, la disparité des articles ne permet pas au lecteur non initié aux mathématiques de construire l'échafaudage des connaissances propre à la discipline. Par conséquent, nombre d'articles demeurent moins accessibles. En revanche, les ouvrages qui se spécialisent sur un sujet mathématique et ses relations avec les arts n'approfondissent pas le bagage mathématique sous-jacent, tel est le cas du livre *The Möbius Strip* de Pickover. Du point de vue de la narration, si une certaine étude pratique existe déjà depuis, avec par exemple Raymond Queneau, et qu'elle se poursuit encore comme le démontre le livre *Circles Disturbed* édité par Barry Mazur et Apostolos Doxiadis, la rencontre des disciplines dans une perspective théorique doit encore se définir pour mieux s'implanter dans le milieu universitaire. L'arrivée des imprimantes tridimensionnelles permettra peut-être d'accélérer ce jumelage des disciplines puisque plusieurs artistes travaillent à des sculptures mathématiques, sculptures qui se réfèrent à des surfaces complexes issues d'une longue tradition en lien avec la géométrie et la topologie.

Dans tous les cas, un nombre réel de sculptures narratives devront être créées afin d'en jauger l'effet. Si ce mémoire démontre la pertinence de l'étude de la narratologie par le biais des sculptures narratives et des théories mathématiques sous-jacentes, rien n'assure la pérennité d'un corpus basé sur ces considérations. Nous pouvons espérer que la démarche entreprise pourra influencer de futurs études sur le sujet ainsi que motiver la création d'œuvres basées sur ces résultats.

**Annexe 1: Les figures**

**Chapitre 2:**

Illustration retirée

Figure 1: Ibn al-Rabin, *The Cannibal Frame* (extrait). Encre sur papier.© 2009 Fantagraphics Books

Illustration retirée

Figure 2 : Marc-Anthoine Mathieu, *Julius Corentin Acquefacque: L'Origine,* © 1991 Guy Delcourt Productions

Illustration retirée

Figure 3 : La courbe de Wada. Source : Wikipedia

Illustration retirée

Figure 4: Winsor McCay, *Little Nemo in Slumberland.* Tiré du livre de John Canemaker.

Illustration retirée

Figure 5 : Extrait de la Tapisserie de Bayeux (extrait), circa 1070. Musée de Bayeux

Illustration retirée

Figure 6 : Joseph Pirestley, A New Chart of History (extrait) (*1769)* Tirée *de* Rosenberg, David and Anthony Grafton. 2010. *Cartographies of Time: A History of the Timeline*. New York : Princeton Architectural Press.

Illustration retirée

Figure 7: Bijection entre le cercle et la droite des réels. Source : http://www.euclideanspace.com/maths/geometry/space/nonEuclid/compactification/

Illustration retirée

Figure 8 : Paul Klee, exemple de ligne active. Tiré de *Théorie de l'art moderne*.

Illustration retirée

Figure 9 : Arbre orienté. Source: http://stackoverflow.com/questions/2471412/how-to-spread-changes-in-oriented-graph

Illustration retirée

Figure 10 : Auteur Inconnu, *Bible Morlisée*. Extrait de la Genèse.

Illustration retirée

Figure 11 : *La flèche du temps.* McCloud, Scott. 2000. *Reinventing Comics*, p.219. New York: Paradox Press. © 2000 Scott McCloud

Illustration retirée

Figure 12: Sterne, Lawrence. 1964. *The Life and Opinions of Tristram Shandy, Gentleman*, p. 417. Toronto: Holt, Rinehart and Winston.

Illustration retirée

Figure 13 : Roman Cinéma*, tiré de* Blanchard, Gérard.1969. *La Bande Dessinée : histoire des histoires en images de la préhistoire à nos jours*, p. 189. Verviers : Marabout. © Ed. J. Rouff

Illustration retirée

Figure 14 : Renouvier, Charles. [1876] 1988*. Uchronie (L'Utopie dans l'Histoire) : Esquisse historique apocryphe du développement de la civilisation Européenne tel qu'il n'a pas été, tel qu'il aurait pu être*. Paris : Librairie Arthème Fayard.

Illustration retirée

Figure 15: Randall Munroe, *Movie Chart*. Source : http://xkcd.com/657/

Illustration retirée

Figure 16: Direction de lecture. Source : http://mathwiki.ucdavis.edu/Calculus/Vector_Calculus/Vector-Valued_Functions_and_Motion_in_Space/Curvature_and_Normal_Vectors_of_a_Curve

Illustration retirée

Figure 17 : Lewis Trondheim, *Le Roi du Monde*. Tiré de *Lapin* nu. 27, Paris : L'Association, 2001.

Illustration retirée

Figure 18 : Jean-Christophe Menu, *Strips croisés*, 2000. Tiré de *L'oupus 3* © Jean-Christophe Menu

Ilustration retirée

Figure 19 : François Ayroles, *Strips Croisés*, 2000. Tiré de *L'oupus 3* © François Ayroles

Illustration retirée

Figure 20: Gustav Verbeek, *Upside Downs of Little Lady Lovekind and Old Man Muffaroo.*

Illustration retirée

Figure 21 : Les nombres de Catalan représentent le nombre de chemins qui ne traversent pas la diagonale. Source : Wikipedia.

Illustration retirée

Figure 22: Chris Ware, *Quimby the Mouse*, 2003. *Seattle: Fantagraphics Books.* © Chris Ware

Illusatration retirée

Figure 23: Fred. 1974. *Philémon: Simbabbad de batbad*. Montréal : Dargaud Éditeur. © Dargaud Éditeur 1974.

Illustration retirée

Figure 24 : *Schéma de Peeters pour la page de Fred.* Peeters, Benoît. 1998. *Lire la Bande Dessinée*. Paris : Casterman, 1998. © Casterman 1998.

Illustration retirée

Figure 25 - Robinson, Alex. 2006. *Derniers Rappels*. Montreil : Éditions Rackham. © Alex Robinson

Illustration retirée

Figure 26-Graphes en étoiles. Source: Wolfram Mathworld.

Illustration retirée

Figure 27: Henriette Valium, *Créateur, tu es et tu seras ça toi*. © Henriette Valium

Illustration retirée

Figure 28: Daniel Merlin Goodbrey, *Never Shoot the Chronopath* 2005 © Daniel Merlin Goodbrey  Tiré du site personnel de Goodbrey

Illustration retirée

Figure 29: Daniel Merlin Goodbrey, *Merlism: The Book of Merl*, 2005,© Daniel Merlin Goodbrey   Tiré du site personnel de Goodbrey

Illustration retirée

Figure 30: Daniel Merlin Goodbrey, *Cells : Wr on Weird*, 2010. © Daniel Merlin Goodbrey

Illustration retirée

Figure 31: J.J. Granville, parition originale dans le *Magasin Pittoresque*, 1840. Tiré de L'ouvrage de Smolderen.

Illustration retirée

Figure 32: Gustave Doré, *Histoire de la Sainte-Russie* (extrait)

Illustration retirée

Figure 33: Ligne imaginaire de Paul Klee, *1985. Théorie de l'Art Moderne.* Édition et traduction par Pierre-Henri Gonthier. Genève : Éditions Gonthier.

Illustration retirée

Figure 34: Distances radiales.

Illustration retirée

Figure 35-George Crumb, *Makrokosmos,* 1972. © George Crumb

Illustration retirée

Figure 36- John Wallis, *Wallis' New Game of Universal History and Chronology*, Londres, 1840. http://alteagallery.com/stock_detail.php?ref=13893&search=

Illustration retirée

Figure 37: *The Victories of Gustaus Adolphus, King of Sweden, in Germany (1631)* Tiré de l'ouvrage de Kunzle

Illustration retirée

Figure 38-Joe Matt, *Peepshow: the cartoon diary of Joe Matt*, 1999. © Joe Matt

Illustration retirée

Figure 39- Mathieu, Marc-Antoine. 1993. *Julius Coretin Acquefaques, prisonnier des rêves : Le processus*. Paris : Éditions Delcourt. © 1993 Delcourt Productions

Illustration retirée

Figure 40- Mathieu, Marc-Antoine. 1993. *Julius Coretin Acquefaques, prisonnier des rêves : Le processus*. Paris : Éditions Delcourt. © 1993 Delcourt Productions

Illustration retirée

Figure 41- Proposition d'un modèle pour une histoire en spirale infinie. Source : *http://www.zwol.org/forum/viewtopic.php?t=1284&sid=29afe7eb537b284815d2d075b9389c13*

Illustration retirée

Figure 42- Exemple de spirale de Fermat. http://wonderfl.net/c/zcm8. © Kayak Inc.

Illustration retirée

Figure 43- Georges Crumb, *Makrokosmos*, 1972. © Georges Crumb

Illustration retirée

Figure 44- Huang Yong Ping, *Carte du Monde*, © 2010 Princeton Architecturl Press

Illustration retirée

Figure 45-Spirales de Cornu, Source: Wolfram Mathworld.

Illustration retirée

Figure 46-M.C. Escher, *Tourbillons*, 1957, xylographie, 1957. 45 x 23,5 cm.

Illustration retirée

Figure 47-Triskèle, 2014 © ClipArt Best. Source: http://www.clipartbest.com/clipart-jixeqx6iE

Illustration retirée

Figure 48- Triskèle, © Zazzle Inc. Source: http://www.zazzle.ca/triskele_spirals_sticker-217523299385155614

Illustration retirée

Figure 49—António Miguel de Campos, *Peano Curve* , 2007, JAVA animation. Source: Wikipedia.

Chapitre 3 :

Illustration retirée

Figure 8: Auteur Inconnu, *Source Code* par Duncan Jones. Source : http://romain.vuillemot.net/2013/04/05/understanding-the-movie-source-code-with-two-images/

Illustration retirée

Figure 9: Auteur Inconnu, *Source Code* par Duncan Jones Source : http://romain.vuillemot.net/2013/04/05/understanding-the-movie-source-code-with-two-images/

Illustration retirée

Figure 10: Jérôme Bosch , *Les septs péchés capitaux et les Quatres dernières Étapes humaines*, vers 1500, Peinture, Huile sur Panneau, Museo del Prado, Madrid.

Illustration retirée

Figure 11*:* Robinson, Alex. 2006. *Derniers Rappels*. Montreil : Éditions Rackham. © Alex Robinson

Illustration retirée

Figure 12: François de Jonge, *Near the Forest*, Lapin n˚37, février 2009. © François de Jonge

Illustration retirée

Figure 13: Matt, Joe. 1999. *Peepshow: the cartoon diary of Joe Matt*. Montréal: Drawn and Quaterly. © Joe Matt

Illustration retirée

Figure 14: Huizenga, Kevin. 2006. *Ganges*. Vol 1. Seattle: Fantagraphics Press and Coconino Press. © Huizinga

Illustration retirée

Figure 15: McCloud, Scott. 1993. *Understanding Comics*. New York : Harper Perrenial. © 1993 Scott McCloud

Illustration retirée

Figure 16*: Roue de la vie* .Anonyme : probablement un moine du Tibet, du Népal ou du Ladakh*.*

Illustration retirée

Figure 17: Gerner*, Morlaque,* OuBaPo. *Oupus 3*. Paris : L'Association, 2000. ©Gerner

Illustration retirée

Figure 18: Jean-Christophe Menu, *Morlaque,* OuBaPo. *Oupus 3*. Paris : L'Association, 2000. ©Menu

Illustration retirée

Figure 19: Fred*, Philémon: L'île des Brigadiers.* © Ed. Dargaud

Illustration retirée

Figure 20: Lenstra, *Printing Gallery*, 2003. © Lenstra

Illustration retirée

Figure 21: Courbe paramétrée. Source : http://www.pacifict.com/Examples/Example4.html

Illustration retirée

Figure 22: Courbe Paramétrée

Illustration retirée

Figure 23: Courbe paramétrée numérotée

Illustration retirée

Figure 24: Graphe équivalent à la courbe paramétrée de la figure 16

.

-

Illustration retirée

Figure 25: Bouquet.  Source : Wikipedia, article Rose (topology)

Illustration retirée

Figure 26: Calendrier Tzolkin. Source : http://kalarhythms.org/mayan-calendar/52-year-calendar-round.htm

Illustration retirée

Figure 27: Lewis Trondheim*, Morlaque,* OuBaPo. *Oupus 3*. Paris : L'Association, 2000. ©Trondheim

Illustration retirée

1- Le père jour son rôle de bon père. De plus, il donne de l'argent de poche à son fils.
2- Le père bat sa femme après avoir consommer de la cocaïne.
3- La mère joue son rôle de bonne mère. De plus, elle donne de l'argent à son fils.
4- Le père s'excuse auprès de sa femme et lui donne de l'argent.
5- La mère dit au fils qu'elle s'est fait battre. Le fils est furieux et il la console.
6- Le père chicane son fils et lui parle de l'importance de bien travaillé.

Figure 28: Schéma de l'histoire

Illustration retirée

Figure 29: Les septs pavages périodiques d'une bande par des figures congrues. Sur la page de Carlo H. Sequin. Source : http://www.cs.berkeley.edu/~sequin/CS39/LECT_13/L2.html

Illustration retirée

Figure 30: Les dix-sept pavages périodiques du plan par des figures congrues.  Tiré du livre de Schattschneider.

Illustration retirée

Figure 31: Exemple de pavage à l'aide du morlaque de Gerner.

Illustration retirée

*Figure 32: Le graphe complet sur quatre sommets*

Illustration retirée

Figure 33: Graphe complet bibarti sur deux groupes de 3 points.

Illustration retirée

Figure 34: Schéma de Queneau complété par Berge

Illustration retirée

Figure 35: Ware, Chris. 2000. *Jimmy Corrigan: The Smartest Kid on Earth*. New York: Pantheon Books. © Chris Ware

Illustration retirée

Figure 29: Ware, Chris. 2003. *Quimby the Mouse.* Seattle: Fantagraphics Books. © Chris Ware

Illustration retirée

Figure 30: Schématisation de la figure 29

Illustration retirée

Figure 31: Graphe simplifié de la figure 30

Illustration retirée

Figure 32: Ware, Chris. 2000. *Jimmy Corrigan: The Smartest Kid on Earth*.New York: Pantheon Books. © Chris Ware

Illustration retirée

Figure 33: Ware, Chris. 2000. *Jimmy Corrigan: The Smartest Kid on Earth*.New York: Pantheon Books. © Chris Ware

Illustration retirée

Figure 34 Friedrich Strass: *Storm der Zuiten* (Stream of Time). Rosenberg, David and Anthony Grafton. 2010. *Cartographies of Time: A History of the Timeline*. New York: Princeton Architectural Press.

Illustration retirée

Figure 35: Stepehn et Daniel Dod ,*A Chronological, Historical and Biographical Chart* (1807). Rosenberg, David and Anthony Grafton. 2010. *Cartographies of Time: A History of the Timeline*. New York: Princeton Architectural Press.

Illustration retirée

Figure 36: Isaac Eddy, *Chronology Delianated to Ilustrate the History of Monarchial Revolutions* (1812). Rosenberg, David and Anthony Grafton. 2010. *Cartographies of Time: A History of the Timeline*. New York: Princeton Architectural Press.

Illustration retirée

Figure 37 : George Macianus, *Fluxus (Its Historical Development and Relationship to Avant Garde Movements)* (1966). Rosenberg, David and Anthony Grafton. 2010. *Cartographies of Time: A History of the Timeline*. New York: Princeton Architectural Press.

Illustration retirée

Figure 38: d'Alfred H. Barr, *Cubism and Abstract Art*. Rosenberg, David and Anthony Grafton. 2010. *Cartographies of Time: A History of the Timeline*. New York: Princeton Architectural Press.

Illustration retirée

Figure 39: Schématisation de l'histoire de l'art par Eric Newton. Rosenberg, David and Anthony Grafton. 2010. *Cartographies of Time: A History of the Timeline*. New York: Princeton Architectural Press.

Illustration retirée

Figure 40: Jason Shiga, *Meanwhile*. Tiré de l'ouvrge de Gravett © 2010 Jason Shiga

Illustration retirée

Figure 41: Tom-B. Schéma du voyage temporel dans Primer. Source : Wikipedia, article sur Primer.

Illustration retirée

Figure 42: Schéma du voyage temporel dans Primer. Source : http://www.terminally-incoherent.com/blog/2008/08/22/primer-the-movie/

Illustration retirée

Figure 43: Schéma de l'histoire de Primer. Source: http://www.kevinmuldoon.com/primer-film/

Illustration retirée

Figure 44: Schéma de l'histoire de Primer. Source: http://forums.xkcd.com/viewtopic.php?f=7&t=47683&start=160

Illustration retirée

Figure 45: Schéa de l'histoire de Primer. Source : http://www.cclapcenter.com/2007/08/movies_for_grownups_primer.html

Illustration retirée

Figure 46: Schéma de l'histoire de *Primer*. Sources : http://movies.yahoo.com/blogs/the-projector/incredibly-detailed-primer-timeline-210027548.html et http://movies.yahoo.com/blogs/the-projector/incredibly-detailed-primer-timeline-210027548.html

Illustration retirée

Figure 47: Quelques représentations possibles de la courbe temporelle du personnage principal du film *Triangle*.

Illustration retirée

Figure 48: Schéma de l'histoire de *Looper* par Rick Slusher. Source: http://lestoilesheroiques.fr/2012/10/looper-fin-explication-histoire-looper-analyse-comprendre.htm

**Chapitre 4**

Illustration retirée

Figure 36: *Black Cats in Hell* par Daniel Merlin Goodbrey. Tiré du livre de Paul Gravett.

Illustration retirée

Figure 37: *Termsphere* par Dick Termes. Source: site personnel de Termes

Illustration retirée

Figure 38: McCloud, Scott. 1993. *Understanding Comics*. New York : Harper Perrenial. © 1993 Scott McCloud

Illustration retirée

Figure 39: Marc-Antoine Mathieu, *Julius Corentin Acquefaques, prisonnier des rèves : La 2,333e dimension*. ©2004 Guy Delcourt productions

Illustration retirée

Figure 40: La Projection Stéréographique Source : http://www.dimensions-math.org/Dim_CH1_E.htm

Illustration retirée

Figure 41:Spirales sphériques (1958) par Escher, xylogravure, diamètre 32 cm.

Illustration retirée

Figure 42: spirales et loxodromies. *Source :* http://hop41.deviantart.com/art/Riemann-Loxodrome-110253875

Illustration retirée

Figure 43: Double spiral by Paul Nylander. © Paul Nylander bugman123.com

Illustration retirée

Figure 44: *Carte du Monde* par Huang Yong Ping. Rosenberg, David and Anthony Grafton. 2010. *Cartographies of Time: A History of the Timeline*. New York: Princeton Architectural Press.

Illustration retirée

Figure 45: La sphère et le cube sont topologiquement équivalents. Source : http://wiki.blender.org/index.php/File:Dev-cube_sphere.png

Illustration retirée

Figure 11 : Pavage de la sphère. Source : http://math.youngzones.org/Non-Egeometry/spherical2.html

Illustration retirée

Figure 12: Pavage d ela sphère par des pentagones. Source : http://plus.maths.org/content/trouble-fiv

Illustration retirée

Figure 13: Page couverture de *The Portable Frank* par Jim Woodring. © 2008 Jim Woodring

Illustration retirée

Figure 14: *The Remonstrant Snake*.  Tiré de l'ouvrage de Kunzle

Illustration retirée

Figure 15 : Le ruban de Moebius. Source : http://www.math.cornell.edu/~mec/Winter2009/Victor/part2.htm

Illustration retirée

Figure 16: M.C. Escher, *Ruban de Moebius II*, 1963, xylogrphie, 45x20 cm.

Illustration retirée

Figure 17: Ruban de Moebius par Max Bill

Illustration retirée

Figure 18: Killdorfer, *Morlaque*. OuBaPo. *Oupus 3*. Paris : L'Association, 2000. © Kildorferl

Illustration retirée

Figure 19: Alan Moore, J.H. Williams III et Mick Gray. *Promethea.* © America's Best Comics

Illustration retirée

Figure 20: *Möbius Comic Strip* de Mark Heat. Source: www.CartoonStock.com ©Mark Heat

Illustration retirée

Figure 21: Tom Tomorrow*, The Modern World : Moebius Strip Foreign Policy*. © 2003 Tom Tomorrow

Illustration retirée

Figure 22: Ruban de Moebius par MacLachlan. Source : http://www.brianmcl.com/moebius-comic-strip/. © Brian MacLachlan

Illustration retirée

Figure 23: Instructions pour le magazine Nick Mag. Source : http://nickmag-comics.livejournal.com/16577.html

Illustration retirée

Figure 24: *Lécroat,, Ruban de Moebius ,* Dans Groupe Acme. 2011. *L'Association: Une utopie éditoriale et esthétique*. Paris : Les Édtions Nouvelles.

Illustration retirée

Figure 25: *Möbius battle* par Randall Munroe. Source: http://xkcd.com/381/

Illustration retirée

Figure 26: *Ruban de Moebius* par Jim Woodring. Source: http://www.fantagraphics.com/index.php?option=com_content&task=view&id=4811&Itemid=109

Illustration retirée

Figure 27 : *Représentation planaire du graphe complet sur cinq sommets sur le ruban de Moebius. Source : http://demonstrations.wolfram.com/EmbeddingsOfGraphsInATorusAndInAMoebiusStrip/*

Illustration retirée

Figure 28: Représentations planaires de $K_{3,3}$ et $K_5$. Dans Gross, J.L. and T.W. Tucker. [1987] 2012. *Topological graph theory,* p.30. New York: Dover Publications, Inc. © 1987, 2001 par Jonathan Gross et Thomas W. Tucker

Illustration retirée

Figure 29: Les échelles de Moebius, Source : Mathworld.com

Illustration retirée

Figure 30: Représentation d'une échelle de Moebius en ruban de Moebius. Source : Wikipedia

Illustration retirée

Figure 31: Coloriage et construction du tore. Source : Wikipedia

Illustration retirée

Figure 32 : $K_{3,3}$ sur le tore. Dans Pickover, Clifford. 2006. *The Möbius Strip : Dr. August Möbius's Marvelous Band in Mathematics, Games, Litterature, Art, Technology, and Cosmology.* New York: Thunder's Mouth. © 2006 Clifford A. Pickover

Illustration retirée

Figure 33: $K_5$ et K6 sur le tore. Dans Gross, J.L. and T.W. Tucker. [1987] 2012. *Topological graph theory. New York:* Dover Publications, Inc. © 1987, 2001 par Jonathan Gross et Thomas W. Tucker

Illustration retirée

Figure 34: Le graphe $K_5$ sur le tore Source : http://www.learner.org/courses/mathilluminated/units/4/textbook/05.php

Illustration retirée

Figure 35: Le théorème de Jordan sur le tore. Source : http://ferrebeekeeper.wordpress.com/2011/03/09/the-torus/

Illustration retirée

Figure 36. Graphe planaire sur le tore. Source : Wikipedia

Illustration retirée

Figure 36: Technique pour éviter les croisements. Dans Gross, J.L. and T.W. Tucker. [1987] 2012. *Topological graph theory. New York:* Dover Publications, Inc. © 1987, 2001 par Jonathan Gross et Thomas W. Tucker

Illustration retirée

Figure 37:: Polygone fondamental de la bouteille de Klein. Source : Wikipedia

Illustration retirée

Figure 38: Bouteille de Klein en trois dimensions. Source : http://plus.maths.org/content/imaging-maths-inside-klein-bottle

Illustration retirée

Figure 39: L'ajout d'un ruban de Moebius sur une surface. Dans: Pickover, Clifford. 2006. *The Möbius Strip: Dr. August Möbius's Marvelous Band in Mathematics, Games, Litterature, Art, Technology, and Cosmology.* New York: Thunder's Mouth. © 2006 Clifford A. Pickover

Illustration retirée

Figure 40: Noeud Trefoil par Jos Leys (2004). Source :
http://www.learner.org/courses/mathilluminated/units/4/textbook/05.php

Illustration retirée

Figure 41: Surface de Costa. Source : Wikipedia

Illustration retirée

Figure 42: Surface de Scherk. Source : Wikipedia

Illustration retirée

Figure 43 : Surface de Henneberg par Dizingof. Source : http://www.ponoko.com/design-your-own/products/henneberg-math-art-by-dizingof-8507

**Annexe 2**

**Bibliographie alphabétique**


Aldred, R.E.L., Carsten Thomassen. 2007. «On the Maximum Number of Cycles in a Planar Graph». En ligne : *Journal of Graph Theory*, p, 255-263. DOI10.1002/jgt

Allen Hatcher. 2002. *Algebraic Topology.* Cambridge: Cambridge University Press.

Andersen, Kirsti. 2007. *The Geometry of an Art: The history of the mathematical theory of perspective from Alberti to Monge*. New York: Springer.

Anonyme. 1973. *Bible Moralisée*: *Faksimile-Ausgabe im Originalformat des CODEX VINDOBONENSIS 255 der Österreicjischen Nationalbibliothek*. Paris: Club du Livre : Graz Akademische Druck-u. Verlasanstalt.

Armstrong, M.A., 1988. *Groups and Symmetry*. New York: Springer-Verlag.

Arnold, Douglas N. and Johnathan Rogness. 2008. « Möbius Transforms Revealed ». *Notices of the American Mathematical Society*, Vol. 55, Nu. 10, p. 1226-1231.

Assman, Jan. 2010. « Le Temps Double de l'Égypte Ancienne ». *Pour La Science*, n˚ 397, p. 136-141.

Baetens, Jan. 1998. *Formes et Politique de la Bande Dessinée: Qui n'a Rien Compris à la Bande Dessinée n'a Rien Compris au XXe Siècle (Ben Streepe)*. Leuven : Peeters Vrin.

Ball, David M. et Martha B. Kuhlman Éditeurs. 2010. *The Comics of Chris Ware: Drawing Is a Way of Thinking*. Mississippi: University Press of Mississippi.

Baltrušaitis, Jurgis. 1993. *Le Moyen Âge Fantastique*. Paris : Flammarion.

--------------- 1995. *Aberrations : Les Perspectives Dépravées-1*. Paris : Flammarion.

--------------- 1996. *Anamorphoses : Les Perspectives Dépravées-II*. Paris : Flammarion.

Bardis, Panos. 1974. «The Moebius Band: History, Synopsis, and Algebraic Generalizations ». Portugaliae Mathematica, Vol.33, No.2, p. 117-132.

Barr, Stephen. 1989. *Experiments in Topology*. New York: Dover Publications.

Berge, Claude. 1997. *Raymond Queneau et la combinatoire*. Paris : La Bibliothèque Oulipienne, nu. 89.

Bess, George. 2005. *Chroniques Aléatoires*. Paris : Casterman Écritures 1.

Blanchard, Gérard. 1969. *La Bande Dessinée : Histoire des histoires en images de la préhistoire à nos jours*. Verviers: Marabout.

Boll, Marcel. 1968. *Histoire des mathématiques.* Paris: Presse Universitaire de France.

Bollobàs, Béla. 1998. *Modern graph theory*. New York: Springer.

Boltyanskiĭ , V.G. and V.A. Efremovich. 2001. *Intuitive Combinatorial Topology*. Traduit du russe par Abe Shenitzer. New York: Springer.

Bondy, J.A. et U.S.R. Murty. 2008. *Graph theory*. New York: Springer.

Bonola, Roberto. 1955. *Non-Euclidean Geometry.* New York: Dover Publications.

Bredon, Glen E.. 1993. *Topology and Geometry.* New-York: Springer.

Browne, Cameron. 2007. « Impossible Fractals ». *Computer & Graphics*, 31(4), p. 659-667.

Brusatin, Manlio. 2002. *Histoire de la ligne*. Paris: Flammarion.

Bruter, Claude Editor. 2002. *Mathemtics and Art: Mathematical Visualization in Art and Education.* New York.

Bruter, Claude Editor. 2012. *Mathematics and Modern Art*: *Proceedings of the First ESMA Conference, held in Paris, July 19-22, 2010*. New York: Springer.

Burns, Aidan. 1994. « Fractal Tilings ». En ligne: The Mathematical Gazette, Vol. 78, No. 482 (July), p. 193-196. Consulté via JSTOR le 24/01/12

Butor, Michel. 1969. *Les Mots dans la Peinture*. Genève: Éditions d’Art Albert Skira S.A.

Canemaker, John. 2005. *Windsor McCay: His Life and Art*. New York: Harry N. Abrams.

Cates, Isaac. 2010. « Comics and the Grammar of Diagrams ». Dans *The Comics of Chris Ware: Drawing Is a Way of Thinking*. Édité par David M. Ball and Martha B. Kuhlman. Mississippi: University Press of Mississippi.

Carbajal G. Sebastián, Enrique. 1975. «My Transformable Structures Based on the Möbius Strip». *Leonardo*, Vol.8, No.2 (Spring), p. 148-149.

Carphin, Philippe et Christianne Rousseau. 2009. « Finir une gravure d’Escher». *Acromath*, vol.4, été-automne 2009, p.20-25.

Cavanna, François. 2013. *La Gloire de Hara Kiri: 1960-1985.* Paris: Glénat.

Cazenave, Michel, Éditeur. 1996. *Encyclopédie des symboles*. Paris: Le Livre de Poche.

Cohn, Neil. 2003. *Early Writings on Visual Language*. Emaki Productions.

Collins, D.J., R.I. Grigorchuk, P.F. Kurchanov and H. Zieschang. 1993. *Combinatorial Group Theory and Applications to Geometry*. New-York: Springer.

Conway, John, Daniel H. Huson. 2002. «The Orbifold Notation for Two-Dimensional Groups». *Structural Chemistry*, Vol, 13, nu. 3, 2002, p. 247-257.

Couperie, Pierre, Maurice C. Horn, Proto Destefanis, Edouard François, Claude Moliterni, Gérald Gassiot-Talabot. 1974. *A History of the comic strip*. Traduit par Eileen B. Henessy. New York: Crown Publishers.

Coxeter, H. S.M. 1961. *Introduction to Geometry*. New York: John Wiley & sons.

Coxeter, H.S.M. 1992. « Coloured Symmetry ». Dans *M.C. Escher: Art and Science*, édité par H.S.M. Coxeter et al. North-Holland: Elsevier Science Publishers R.V., 1986.

Coxeter, H.S.M., P. Du Val, H.T. Flather et J.F. Petrie.1982. *The Fifty-Nine Icosahedra*. New-York: Springer-Vertag.

Cristea, Ligia L. And Bertan Steinsky. 2011. « Curves of Infinite Lenght in Labyrinth Fractals ». *The Edinburgh Mathematical Society*, n˚54, p. 329-344.

Dal'Bo-Minolet, Françoise. 2012. «La géométrie des horizons ». *Pour la Science*, n˚411 (Janvier), p. 38-45.

Dahan-Dalmedico, A. et J. Pfeiffer. 1984*. Une Histoire des Mathématiques: routes et dédales*. Paris: Éditions du Seuil.

Delahaye, Jean-Paul. 2003. « Paver des pavés ». *Pour la Science*, n˚306 (Avril), p. 108-113.

-------------2004. « Calculer dans un monde hyperbolique? ». *Pour la Science*, n˚316 (Février), p. 90-95.

------------- 2004b. « Labyrinthes de longueur infinie ». *Pour la Science*, n˚318 (Avril), p. 90-95.

------------- 2004c. « Ambigrammes ». *Pour la Science*, n˚32 (Septembre), p. 90-95.

------------- 2007. « Les pavages fins ».*Pour la Science,* n˚361 (Novembre), p. 154-159.

------------- 2008a. « Une propriété cachée des graphes ».*Pour la Science,* n˚366 (Avril), p. 92-97.

------------- 2008b. « Deux sculpteurs de mathématiques ». *Pour la Science,* n˚369 (Juillet), p. 90-95.

------------- 2011. « Infini et impossible ». Pour la Science, n˚403 (Mai), p. 88-93.

------------- 2013. « La quête du pavé apériodique unique». *Pour la Science,* n˚433 (Novembre), p. 124-129.

Di Liddo, Annalisa. 2009. *Alan Moore: Comics as Performance, Fiction as Scalpel*. Mississippi: University Press of Mississippi/ Jackson.

Dollars, Avida. 2003. «La galerie en abyme d'Escher». *Pour la Science*, n˚308 (Juin), p. 104-105.

Doré, Gustave. [1854] 1991. *Histoire de la Sainte-Russie*. Paris: Éditions de L'Unicorne.

Doxiadis, Apostolos. 2005. « Euclid's Poetics: An Examination of the similarity between narrative and proof ». Dans *Mathematics and Culture II*, édité par Michele Emmer, Cambridge : MIT Press, p. 175-182.

Dummit, David S., Richard M. Foot. 1991. *Abstract Algebra.* 2nd Ed. New Jersey: Prentice Hall.

Eco, Umberto. 1965*. L'Œuvre Ouverte*. Traduit de l'italien par Chantal Roux de Bézieux avec le concours d'André Boucourechliev. Paris: Éditions du Seuil, 1965.

Edgard, Gerald. A. 1990. *Measure,Topology and Fractal Geometry*. Coll. Undergraduate texts in Mathematics. New York: Springer-Verlag.

Eisner, Will. 2008. *Expressive Anatomy for Comics and Narrative*. New York: Norton & Company.

------------- 2009*. Les Cléfs de l'Art Séquentiel 1 : L'Art Séquentiel*. Paris: Guy Delcourt Productions.

------------- 2010*. Les Cléfs de la Bande Dessinée 2 : La Narration*. Paris: Guy Delcourt Productions.

Ekelang, Ivar. 1984. *Le Calcul, l'Imprévu: Les Figures du Temps de Kepler à Thom*. Paris: Éditions du Seuil.

Eliade, Mircea. 1969. *Le mythe de l'éternel retour*. Paris : Éditions Gallimard.

Emmer, Michele (dir.). 1993. *The Visual Mind: Art and Mathematics*. Cambridge: MIT Press.

Emmer, Michele (dir.). 2005a. *The Visual Mind II: Art and Mathematics*. Cambridge: MIT Press.

------------- 2005b. *Mathematics and Culture II*. New-York: Springer.

-------------2005c. « Mathematics and Raymond Quenaud ». Dans *Mathematics and Culture II,* édité par Michele Emmer, Cambridge: MIT Press, p. 195.200.

-------------2006. *Matematica e cultura*. New-York: Springer.

Eisenstein, S.M. 1976. *Le Film : Sa forme, son sens*. Paris: Christian Bourgeois Éditeur.

Escher, M. C. 1972. « L'approche de l'infini ». Dans *Le Monde de M.C. Escher : L'œuvre de M.C. Escher, commenté par J.L. Locher, H.A. Broos, M.C. Escher, G.W. Locher et H.S.M. Coxeter*. Édité par J.L. Locher. Paris : Éditions du Chêne.

Estren, Mark James. 1993. *A History of Underground Comics.* Berkeley: Ronin Publishing.

Falcón, Maricela Ayala. 2012. «Tiempos mesoamericanos, calendarios mayas». *Artes de México*, vol. 107, El Arte del Tiempo Maya, p. 18-25.

Faure, Elie. 1964a*. Histoire de l'Art: L'Art Moderne 1*. Paris : Le Livre de Poche.

--------------- 1964b. *Histoire de l'Art: L'Art Moderne 2*. Paris : Le Livre de Poche.

Francis, George K. and Jeffrey R. Weeks. 1999. «Conway's ZIP Proof». American Mathematical Society, 106 (1999), p. 393-399.

François, Virginie. 2005. *La Bande Dessinée*. Paris: Éditions Scala.

Fred. 1974. *Philémon: simbabbad de batbad*. Montréal: Dargaud Éditeur.

Friedman, John; Michael Morris, Igor Novikov, Fernand Echeverria, Gunnar Klinkhammer, Kip Thorne, Ulvi Yurtsever. 1990. « Cauchy Problem in Spacetimes with Closed Timlike Curves ». Dans Physical Review D 42 (6), p. 1915-1930.

Friedman, Nat. 2007. «Keizo Ushio: 2006 part two». En ligne: *Hyperseeing: The Journal of the International Society of the Arts, Mathematics, and Architecture*. Février. http://www.isama.org/hyperseeing/

Gagarin, A., W. Myrvold et J. Chambers. 2005. «Forbidden minors and subdivisions for toroidal graphs witn no $K_{3,3}$'s.». Dans Electric Notes in Discrete Mathematics Vol. 22, p. 151-156.

Gamelin, Theodore W.. 2001. *Complex Analysis*. New York: Springer-Verlag New York.

Gao, Honghao, Nan Shi et Min Yan. 2013. «Spherical Tiling by 12 Congruent Pentagons». En ligne: *Journal of Combinatorial Theory*, Serie A. DOI: 10.1016/j.jcta.2012.12.006

Gardner, Martin. 1956. *Mathematics, Magic and Mystery*. New York: Dover Publications.

------------1983. *Wheels, Life and other Mathematical Amusements*. New York: W.H. Freeman and Company.

Gaudreault, André. 1999. *Du littéraire au filmique: système du récit*. Paris : Les Éditions Nota Bene et Armond Colin.

Gaudreault, André et Nicolas Dulac. 2006. « La circularité et la répétitivité au cœur de l'attraction: les jouets optiques et l'émergence d'une nouvelle série culturelle », En ligne. *1885 Mile huit cent quatre-vingt-quinze*. n˚50, mis en ligne le 01 Décembre 2009.URL : http//1895.revues.org/pdf1282

Gauvard, Claude, Alain de Libera et Michel Zink, Éditeurs. 2002. *Dictionnaire du Moyen Âge*. Paris: Éditions Quadrige/Puf.

Genette, Gérard. 1972. *Figures III*. Coll. Poétiques. Paris: Éditions du Seuil, 1972.

Gerner, Jochen. 2008. *Contre la Bande Dessinée : choses lues et entendues*. Paris: L'Association.

Gifford, Dennis. 1984*. The International Book of Comics*. Toronto: Royce Publications.

Glover, Henry H., John P. Huneke and Chin San Wang. 1979. « 103 Graphs That Are Irreducible for the Projective Plane ». *Journal of Combinatorial Theory*, Series B 27, p.332-370.

Gravett, Paul. 2013. *Comics Art*. New Heaven: York University Press.

Gray, Jeremy. 2007. *Worlds Out of Nothing: A Course in the History of Geometry in the 19th Century*. New York: Springer.

Grimaldi, Ralph P.. 2004. *Discrete and combinatorial mathematics; an applied introduction*, 5th Ed. Boston: Pearson Addison Wesley.

Groensteen, Thierry, Benoît Peeters Éditeurs. 1994. *Töpffer: L'Invention de la Bande Dessinée*. Paris: Hermann, Éditeurs des Sciences et des Arts.

Groensteen, Thierry. 1994. « Naissance d'un art ». Dans *Töpffer: L'Invention de la Bande Dessiné.* Édité par Thierry Groensteen et Benoît Peeters. Paris: Hermann, Éditeurs des Sciences et des Arts, p. 65-142.

Groensteen, Thierry. 1996. «Un Premier Bouquet de Contraintes ». Dans *Oubapo: oupus 1*. Édité par L'Association. Paris: L'Association, p. 13-59.

---------------- 1999. Système de la Bande Dessinée. Paris: Presse Universitaire de France.

---------------- 2006. *Un Objet Culturel Non Identifié*. Paris: Éditions de l'An 2.

---------------- 2007. *La Bande Dessinée : Mode D'Emploi*. Paris: Les Impressions Nouvelles.

Gross, J.L. and T.W. Tucker. [1987] 2012. *Topological graph theory. New York:* Dover Publications.

Groupe Acme. 2011. *L'Association: Une utopie éditoriale et esthétique*. Paris : Les Édtions Nouvelles.

Gubern, Roman. 1972. *El Languaje de los Comics*. Barcelone: Ediciones Península.

Guggeheimer, H. 1977. « The Jordan Curve Theorem and an Unpublished Manuscript by Max Dehn ». Dans *Arch. Hist. Exact Science*, p. 197-200.

Guillen, Michael. 1995*. Invitation aux Mathématiques*: *Des Ponts Vers l'Infini*. Traduit de l'anglais par Gilles Minot. Paris : Éditions Albin Michel.

Guy, Richard K, Harary, Frank. 1967. «On the Möbius ladders». En ligne: *Canadian Mathematical Bulletin*, 10:493-466. Doi: 10.4153/CMB-1967-046-4.

Hales, Thomas C. 2007. « The Jordan Curve Theorem Formally and Informally ». Dans *The American Mathematical Monthly*, vol. 104, p. 882-894.

Hamou, Philippe. 1995*. La Vision Perspective (1435-1740): L'art et la science du regard de la Renaissance à l'âge classique*. Paris: Éditions Payot & Rivages.

Harris, John M; Jeffrey L. Hirst, Michael J. Mossinghoff. 2008. *Combinatorics and Graph Theory*. 2nd Ed. New York: Springer.

Hartsfield, Nora and Gerhart Ringel. 1990*. Pearls in Graph Theory*. San Diego: Academic Press.

Hartshorne, Robin. 2000*. Euclid and Beyond*. New-York: Springer-Verlag New-York.

Haussherr, Reiner. 1973. *Bible Moralisée* : *Faksimile-Ausgabe im Originalformat des CODEX VINDOBONENSIS 255 der Österreicjischen Nationalbibliothek: Commentarium*. Paris: Club du Livre : Graz Akademische Druck-u. Verlasanstalt.

Heer, Jeet. 2010. «Inventing Cartoon Ancestors: Ware and the Comics Canon». Dans *The Comics of Chris Ware: Drawing Is a Way of Thinking*. Édité par David M. Ball and Martha B. Kuhlman. Mississippi: University Press of Mississippi, p. 3-13.

Herman, David. 2012. «Formal Models in Narrative analysis ». Dans *Circles Disturbed*. Édité par Apostolos Doxiadis and Barry Mazur. Princeton: Princeton University Press, p. 447-478.

Hofstadter, Douglas. 1981. «On Self-Referential Sentences». Dans *Metamagical Themas: Questing fort the Essence of Mind and Pattern*. New York: Basic Books, p. 5-24.

Hofstadter, Douglas. 1985. *Gödel Escher Bach: Les Brins d'une Guirlande Éternelle*. Paris: Interéditions.

Huizenga, Kevin. 2006. *Ganges*. Vol 1. Seattle: Fantagraphics Press and Coconino Press.

Jean, Marcel. 2006. *Le Language des Lignes et Autres Essais sur Le Cinéma d'Animation*. Montréal: Les 400 coups.

Jordan, Camile. 1887. *Cours d'analyse: tome troisième calcul intégral et équations différentielles.* Paris: Gauthiers-Villars.

Kandinsky, Wassily. 1970. Point-Ligne-Plan: contribution à l'analyse des éléments picturaux. Paris: Denoël/Gonthier.

Kelley, John L. 1975. *General Topology*. New York: Springer-Verlag.

Killdofer. 1996. « Bande Dessinée en Tripoutre ». Dans *Oubapo: oupus 1*. Édité par L'Association. Paris:L'Association, p. 66-67.

Andersen, Kirsti. *The Geometry of an Art: The history of the mathematical theory of perspective from Alberti to Monge*. New York: Springer, 2007.

Klee, Paul. 1985. *Théorie de l'Art Moderne*. Édition et traduction par Pierre-Henri Gonthier. Genève: Éditions Gonthier.

Koch, Helge von. 1906. « Une méthode géométrique élémentaire pour l'étude de certaines questions de la théorie des courbes planes ». En ligne: *Acta Mathematica*. Vol. 30, No. 1, p. 145-175. Consulté via Metapress Springer le 24/01/12. DOI 10.1007/BF02418570

Kraft, Roger L. 1994. « What's the Difference between Cantor Sets? ». En ligne*: The American Mathematical Monthly,*vol. 101, n°7 ( Aug.- Sep. ),p.640-650. Consulté le 20/01/2012. http://www.jstor.org/stable/2974692

Kuhlman, Martha B.. 2010. «In the Comics Workshop: Chris Ware and Oubapo ». Dans *The Comics of Chris Ware: Drawing Is a Way of Thinking*. Édité par David M. Ball and Martha B. Kuhlman. Mississippi: University Press of Mississippi, p. 78-89.

Kuhlman, Martha B. et David Mall. «Introduction: Chris Ware and the ''Cult of Difficulty''». Dans *The Comics of Chris Ware: Drawing Is a Way of Thinking*. Édité par David M. Ball and Martha B. Kuhlman. Mississippi: University Press of Mississippi, p. IX-XXIII.

Kühnel, Wolfgang. 2002. *Differential Geometry: Curves-Surfaces-Manifolds*. Providence: The American Mathematical Society.

Kunzle, David. 1972. *History of the Comic Strip Volume 1: The Early Comic Strip*. Los Angeles: University of California Press.

Kunzmann, Franz, Franz-Peter Burkard et Franz Wiedmann. 1999. *Atlas de la philosophie.*Paris: La Pochothèque.

Kuratowski, Casimir. 1930. « Sur le problème des courbes gauches en topologie». *Fundamenta Matematicae,* Vol. 15, p. 272-283.

Labelle, Jacques et Armel Mercier. 1993. *Introduction à l'Analyse Réelle*. Montréal: Modulo.

Lacassin, Françis. 1972. «The Comic Strip and Film Language». *Film Quaterly*, Vol. 6, nu 1, Autumn 1972, p. 11-23.

Lambert, Félix. 2012. «L'image retrouvée: de l'anamorphose à la transformation conforme». Synoptique - An online Journal of Film and Moving Image Studies, Vol.2, No. 2, p.23-53.

Lang, Serge. 2005. *Undergraduate Algebra*. 3th Ed. New York: Springer.

Lauwerier, Hans. 1991. *Fractals: Endlessy Repeated Geometrical Figures*. Princeton: Princeton University Press.

Lemoir-Gordon, Nigel, Will Rood and Ralph Edney. 2000. *Introducing Fractal Geometry*. Edited by Richard Appignanesi. Cambridge: Icon Books Ltd.

Levin, Bob. 2005. *Outlaws, Rebels, Freethinkers &Pirates: Essays On Cartoons And Cartoonists.* Seattle: Fantagraphics Books.

Lickorish, W.B. Raymond. 1997. *An Introduction to Knot Theory*. New-York: Springer.

Locher, J.L. Éditeur.1972. *Le Monde de M.C. Escher: L'Oeuvre de M.C. Escher Commenté par J.L. Locher, C.H.A. Broos, M.C. Escher. G.W. Locher, H.S.M. Coxeter*. Traduit de l'hollandais par Jeanne A. Renault. Paris: Éditions du Chêne.

Loi, Maurice éditeur. 1995. *Mathématiques et Art*. Paris: Éditions Hermann.

Luecking, Stephen. 2007. «Intuiting Topology: Sculptures of Bruce White». En ligne: *Hyperseeing: The Journal of the International Society of the Arts, Mathematics, and Architecture*. Mars 2007. http://www.isama.org/hyperseeing/

Mandelbrot, Benoît 1995. *Les Objets Fractals : Formes Hasard et Dimension*, 4th Ed. Paris: Flammarion.

Mangin, LoÏc. 2011. « Donner à voir les mathématiques ». *Pour la Science*, n˚408 (Octobre), p. 94-95.

Mathieu, Marc-Antoine. 1991a. *Julius Coretin Acquefaques, prisonnier des rêves: L'origine*. Paris: Éditions Delcourt.

------------ 1991b. *Julius Coretin Acquefaques, prisonnier des rêves: La qu…*. Paris: Éditions Delcourt.

------------ 1993. *Julius Coretin Acquefaques, prisonnier des rêves: Le processus*. Paris: Éditions Delcourt.

------------ 1995. *Julius Coretin Acquefaques, prisonnier des rêves: Le début de la fin*. Paris: Éditions Delcourt.

------------ 2004. *Julius Coretin Acquefaques, prisonnier des rêves: La 2,333$^{e}$ dimension*. Paris: Éditions Delcourt.

------------ 2013. *Julius Coretin Acquefaques, prisonnier des rêves: Le décalage.* Paris: Éditions Delcourt.

Matt, Joe. 1999. *Peepshow: the cartoon diary of Joe Matt*. Montréal: Drawn and Quaterly.

Matt, Joe. 2004. *Strip-Tease: Le Journal de Joe Matt*. Paris: Éditions du Seuil.

McCloud, Scott. 1993. *Understanding Comics*. New York: HarperPerrenial.

------------ 2000. *Reinventing Comics*. New York: Paradox Press.

------------ 2006. *Making comics: Storytelling Secrets of Comics, Manga and Graphic Novels.* New York: Harpercollins Publishers.

McHale, Brian. 1987. *Postmodernist Fiction*. New York: Methuen.

Menu, Jean-Christophe. 2011. *La bande dessinée et son double: langage et marges de la bande dessine : perspectives pratiques, théoriques et éditoriales*. Paris: L'Association.

Merris, Russell. 2001. *Graph Theory*. New York: John Wiley & Sons.

Mertz, Christian, 2003. «Le cinéma, langue ou language?», dans *Essais sur la signification au cinéma. Tome 1 et 2.* Paris : Klincksieck, p.39-93.

Meulenbeld, Ben. 2001. *Le symbolisme du bouddhisme dans les thangkas tibétains: Peintures népalaises modernes de thangkas tibétaines.* Halvelte: Binkey Kok Publications.

Mohar, Bojan and Carsten Thomassen. 2001. *Graphs on surfaces*. Baltimore: The John Hopkins University Press.

Molotiv, Andrei Éditeur. 2009. *Abstract Comics: The Anthology*. Seattle: Fantagraphics Books.

Montesinos, José M.. 1987. *Classical Tesselations and Three-Manifold.* Berlin: Springer-Verlag.

Morgan, Harry. 2003. *Principes des Littératures Dessinées*. Collection Essais, Paris: Les Éditions de l'An 2.

Munkres, James R. 2000. *Topology*. 2nd Ed. New Jersey: Prentice Hall.

Mumford, David, Caroline Series and David Wright. 2002. *Indra's Pearls: The Vision of Felix Klein*. Cambridge: Cambridge University Press.

Osgood, William F. 1903. « A Jordan Curve of Positive Area ». En Ligne: *Transactions of the American Mathematical Society,* Vol. 4, n°1 (Janvier), p. 107-112. Consulté le 10-04-2012. http://www.jstor.org/stable/1986455

Osserman, Robert. 2005. «Mathematics take center stage». Dans *Mathematics and Culture II*, édité par Michele Emmer, Cambridge : MIT Press, p. 187-194.

Ore, Oystein. 1967. *The Four-Color Problem.* New York: Academic Press.

OuBaPo. 2000. *Oupus 3*. Paris: L'Association.

OuBaPo. 2003. *Oupus 2*. Paris: L'Association.

Pasamonik, Dider. 2008. *Critique de la Bande Dessinée Pure, Chroniques Narquoises: 2005-2007.* Paris: Berg International Éditeurs.

Parain, François. 2007. « Marc-Antoine Mathieu : Arpenteur des paradoxes ». Dans *Revue 303 : Arts, recherches, créations. Dossier 9ième Art*, Nantes, p. 36-43.

Peano, Giuseppe. 1890. « Sur une courbe, qui remplit toute une aire plane ». En ligne: *Mathematiche Annalen*, Vol. 36, n° 1, p. 157-160. Consulté le 10-04-2012. DOI : 10.1007/BF01199.438.

Peeters Benoît et Jacques Samson. 2010. *Chris Ware: La bande dessinée réinventé*. Les impressions Nouvelles.

Peeters, Benoît. 1998. *Lire la Bande Dessinée*. Paris: Casterman.

Peeters, Benoît. 1994. « Le Visage et la Ligne: zigzags töpfferiens ». Dans *Töpffer: L'Invention de la Bande Dessiné.* Édité par Thierry Groensteen et Benoît Peeters. Paris: Hermann, Éditeurs des Sciences et des Arts, p. 1-64.

Penrose, Roger. 1992. « On the Cohomology of Impossible Figures ». Dans *The Visual Mind*, édité par Michele Emmer. Cambridge : MIT Press, p. 27-29.

Peter, Rózsa. 1977. *Jeux avec l'infini : Voyage à travers les mathématiques*. Paris : Éditions du Seuil.

Pickover, Clifford. 2006. *The Möbius Strip : Dr. August Möbius's Marvelous Band in Mathematics, Games, Litterature, Art, Technology, and Cosmology.* New York: Thunder's Mouth.

Pressley, Andrew. 2001. *Elementary Differential Geometry*. Springer Undergraduate Mathematics Series.London: Springer.

Queneau, Anne-Isabelle. 2002. *Album Raymond Queneau*, Coll. Bibliothèque de la Pléiade. Paris: Éditions Gallimard.

Reinhardt, Fritz, Heinrich Soeder. 1997. *Atlas des mathématiques*. Paris: La Pochothèque.

Renouvier, Charles. [1876] 1988*. Uchronie (L'Utopie dans l'Histoire) : Esquisse historique apocryphe du développement de la civilisation Européenne tel qu'il n'a pas été, tel qu'il aurait pu être*. Paris: Librairie Arthème Fayard.

Read, Herbert. 1960. *Histoire de la Peinture Moderne*. Paris: Éditions Aimery-Somogy.

Robinson, Alex. 2006. *Derniers Rappels*. Montreil: Éditions Rackham.

Rosenberg, David and Anthony Grafton. 2010. *Cartographies of Time: A History of the Timeline*. New York: Princeton Architectural Press.

Rosenkranz, Patrick. 2008. *Rebel Visions: The Underground commix Revolution*. Seattle: Fantagraphics Books.

Ryan, Marie-Laure. 1991. *Possible Worlds, Artificial Intelligence, and Narrative Theory*. Indianapolis: University Bloomington & Indianapolis Press.

Sabin, Roger. 1993. *Adult Comics: An Introduction.* London: Rotledge.

Sabin, Roger. 1996. *Comics, Comix & Graphic Novels: A Histor of Comic Art*. New York: Phaidon Press.

Sadoul, Jacques. 1989*. 93 ans de B-D*. Paris: Éditions J'ai Lu.

Saff E.B. and, A.D. Snider. 2003*. Fundamentals of Complex Analysis with Applications to Engineering and Science*, 3rd Ed. New Jersey: Prentice Hall and Pearson education.

Sagan, Hans. 1994. *Space-Filling Curves*. New-York: Springer.

Schattschneider, Doris. 1992. *Visions de la Symétrie: Les Cahiers, les Dessins Périodiques et les Oeuvres Corrélatives de M.C. Escher*. Traduit de l'américain par Marie Bouazzi. Paris: Éditions du Seuil.

Sethuraman, B. A.. 1997. *Rings, Fields, and Vectors Spaces: An Introduction to Abstract Algebra via Geometric Constructibiliy.* New-York: Springer.

Sierpiński, Wacław. 1915. « Sur les ensembles connexes et non connexes ». *Fundamenta Mathematicae*, vol.2, p. 81-95.

Sims, John. 2005. « Trees, Roots and the Brain: A Methaphorical Fondation for Mathematical Art ». Dans *Mathematics and Culture II*, édité par Michele Emmer. Cambridge: MIT Press, p. 163-170.

Sitarz, Andrezej. 2001. « On Deformed Moebius Band ». *Reports on Mathematical Physics,* vol.47, no˚2, p.247-252.

Šlapal, Josef. 2006. « Digital Jordan Curves ». *Topology and its Applications*, Vol. 153, p. 3255-3264.

Smit, B. de and H.W. Lenstra Jr. 2003. « Artful Mathematics: The Heritage of M.C. Escher». *Notices of the American Mathematical Society*, Volume 50, nu 4, p. 446-451.

Smith, Henry J. Stephens. 1875. « On the Integration of Discontinuous Functions ». En ligne: *Proceedings of the London Mathematical Society*, Series 1, Vol. 6, p. 140-153. Consulté via *Oxford Journals*. DOI 10.1112/plms/sl-6.1.140. Consulté le 25/01/12

Smolderen, Thierry. 2009. *Naissance de la Bande Dessinée: De William Hogarth à Winsor McCay*. Paris: Les Impressions Nouvelles.

Stein, Sherman K.. 1994, Sándor Szambó. *Algebra and Tiling: Homeomorphisms in the Service of Geometry.* Washington: The Mathematical Association of America.

Sterne, Lawrence. 1964. *The Life and Opinions of Tristram Shandy, Gentleman*. Toronto: Holt, Rinehart and Winston.

Stillwell, John. 1992. *Geometry of Surfaces.* New York: Springer-Verlag.

------------ 2001. « The Story of the 120-Cell ». Notices of the American Mathematical Society, January, p. 17-25.

------------ 2010a. *Four Pillars of Geometry*. New York: Springer-Verlag.

------------ 2010b. *Mathematics and its History*. New York: Springer.

Teissier, Bernard. 2012. « Mathematics and Narrative: Why Are Stories and Proofs Interesting? ». Dans *Circles Disturbed*. Édité par Apostolos Doxiadis and Barry Mazur. Princeton: Princeton University Press, p. 232-243.

Termes, Dick. 1994. «The Geometries behind my Spherical Paintings ». Dans *The Visual Mind: Arts and Mathematics*. Édité par Michele Emmer. Cambridge: MIT Press, p. 243-248.

Thomas Inge, M.. 1990. *Comics as Culture*. Mississippi: University Press of Mississippi/Jackson and London.

Toth, Gabor. 1998. *Glimpses of Algebra and Geometry*. New York: Springer-Verlag.

Van Lente, Fred and Ran Dunlavey. 2012. *The Comic Book History of Comics*. San Diego: IDW Publishing.

Veblen, Oswald. 1905. « Theory on Plane Curves in Non-Metrical analysis Situs ». En Ligne: http://www.ams.org/journals/tran/1905-006-01/S0002-9947-1905-1500697-4/home.html. Dans *Transactions of the Amereican Mathematical Society*, Vol. 3, p. 83-98.

Versaci, Rocco. 2007. *This Book Contains Graphic Language: Comics as Littérature*. New York: The Continuum International Publishing Group.

Vidal-Rosset, Joseph. 2004. *Qu'est-ce qu'un paradoxe?*. Paris: Librairie Philosophique J.Vrin.

Volterra, Vito. 1881. « Alcune Osservazioni sulle Funzioni Punteggiate Discontinue ». *Giornale di Matematiche*, vol.19, p.76-86.

Wallace, David Foster. 2010. *Everything and More: A Compact History of Infinity*. New York: Atlas Books.

Ware, Chris. 2000. *Jimmy Corrigan: The Smartest Kid on Earth*. New York: Pantheon Books.

--------- 2003. *Quimby the Mouse.* Seattle: Fantagraphics Books.

West, Douglas B.. 2001. *Introduction to Graph Theory*. New Jersey: Prentice Hall.

Willoughby, Dominique. 2009. *Le cinéma graphique: Une histoire des dessins animés: des jouets d'optique au cinéma numérique.* Paris: Éditions Textuel.

Wolk, Douglas. 2007. *Reading Comics: How Graphics Novels Work and What They Mean.* Philadelphia: Da Capo Press.

Woodring, Jim. 2008. *The Portable Frank*. Seattle: Fantagraphics Books.

Yue Cheuk, Ho Man Cheung, Min Yan. 2013. « Tilings of the Sphere by Geometrically Congruent Pentagons I ». En ligne: Math MG, 2013, p. 1-30. http://arxiv.org/abs/1310.2219

**Filmographie :**

Cameron, James (réal.). *Terminator*. 1984. États-Unis et Grande-Bretagne: Hemdale Film, Pacific Western, Euro Film Funding. DVD. 107 min.

Cameron, James (réal.). *Terminator : Judgement Day*. 1991. États-Unis et France: Carolco Pictures, Pacific Western. DVD. 137 min.

Carruth, Shane (réal.). *Primer*. 2005. États-Unis: ERBP. DVD. 77 min.

Cronenberg, David (réal.). *eXistenZ*. 1999. Canada et Grande-Bretagne: Alliance Atlantis Communications, Canadian Television Fun. DVD. 97 min.

Gilliam, Terry (réal.). *Twelve Monkeys*. États-Uns: Universal Pictures. 129 min.

Johnson, Ryan (réal.). *Looper*. 2012. États-Unis et Chine: Endgame Entertainment. DVD. 119 min.

Jones, Duncan (real.). *Source Code*. 2011. États-Unis: Vendome Pictures et The Mark Gordon Company. DVD. 93 min.

Manchevski, Milcho (real.) Before the Rain. 1994. Macédoine, Grande-Bretagne et France: Aim, British Screen Productions, European Co-Production Fund, Ministry of Culture of the Republic of Macedonia, Noe, PolyGram Audiovisuel et Vardar Film. DVD. 113 min.

Marker, Chris (réal.). *La jetée*. 1962. France: Argos Film. DVD. 28 min.

Nolan, Christopher (réal.). *Inception*. 2012. États-Unis et Grande-Bretagne: Syncopy. DVD. 148 min.

Oshii, Avalon (réal.). *Avalon*. Japon et Pologne: Deiz Productions, Bandai Visual Company. DVD. 107 min.

Retes, Gabriel (réal.). *Chin Chin el Teporocho*. 1976. Mexique : Corporación Nacional Cinematográfica, R.M. Productions et S.T.P.C.. DVD. 102 min.

Smith, Christopher (réal.). *Triangle*. 2009. Grandre-Bretagne et Australie: Icon Entertainment International, Framstore, Ok Film Council. DVD. 99 min.

Tarkovski, Andrei, Tonnino Guerra (real.). 1983. *Tempo di viaggio*. Italy: Genius s.r.I. and RAI Radiotelevisione Italiana. DVD. 62 min.

**Sites consultés**:


http://e-merl.com/hypercomics

http://scottmccloud.com/4-inventions/canvas/index.html

http://www.mizar.org/

http://e-merl.com/pocom.htm

http://xkcd.com/657/

http://e-merl.com/chrono.htm

http://e-merl.com/cells.htm

http://www.zwol.org/forum/viewtopic.php?t=1284&sid=29afe7eb537b284815d2d075b9389c13

http://romain.vuillemot.net/2013/04/05/understanding-the-movie-source-code-with-two-images/

http://supermentera.blogspot.ca/2011/04/source-code-as-i-see-it.html

http://joshsommers.smugmug.com/

http://www.flickr.com/photos/sbprzd/sets/72157594172266668/detail/

http://www.terminally-incoherent.com/blog/2008/08/22/primer-the-movie/

http://www.film.com/movies/looper-infographic

http://www.map.mpim-bonn.mpg.de/2-manifolds

http://www.math.cornell.edu/~mec/Winter2009/Victor/part4.htm

http://stumptowntradereview.com/2012/04/the-5-largest-comics-in-the-world/

http://cs.stmarys.ca/~dawson/images4.html

http://pyramidbeach.com/tag/homeomorphic/

http://emdinger195.blogspot.ca/2009/06/poincare-conjecture.html

http://www.neatoshop.com/product/Mobius-Comic-Strip

http://www.shroomery.org/forums/showflat.php/Number/1881574
http://www.brianmcl.com/moebius-comic-strip/

https://xkcd.com/381/

https://www.fantagraphics.com/rarities-and-miscellany-by-various-artists/moebius-strip-comic-by-jim-woodring-video-photo-animation.html

http://www.emba.uvm.edu/~darchdea/graphs/

http://mathworld.wolfram.com/

http://wikipedia.org/