



HAL
open science

Introduction à l'art topologique Mathématiques et création musicale ou “ poly-art ”

Athanase Papadopoulos, Stéphane de Gérando

► **To cite this version:**

Athanase Papadopoulos, Stéphane de Gérando. Introduction à l'art topologique Mathématiques et création musicale ou “ poly-art ”. 2011. hal-02943266

HAL Id: hal-02943266

<https://hal.science/hal-02943266>

Submitted on 23 Sep 2020

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

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

Introduction à l'art topologique

Mathématiques et création musicale

ou « poly-art »

Stéphane de Gérando¹
Chercheur associé à l'Institut d'esthétique
des arts et technologies, compositeur
IDEAT / FRE 3307
CNRS / Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Athanase Papadopoulos²
Directeur de recherche à l'Institut de Recherche
Mathématique Avancée
IRMA / UMR 7501
CNRS / Université de Strasbourg

Pour citer cet article : Stéphane de Gérando – IDEAT CNRS / Athanase Papadopoulos – IRMA CNRS
UDS | 3icar / icarEditions, 2011. Distribution électronique 3icar. Tous droits réservés pour tous pays.

Résumé

Dans cet article, nous décrivons des rapprochements entre des concepts tirés de la topologie et la création contemporaine, particulièrement dans le domaine musical, avec des perspectives d'enrichissement de l'imaginaire que cela peut offrir, notamment en lien avec un "poly-art".

INTRODUCTION A LA TOPOLOGIE

La topologie est la branche des mathématiques qui étudie les formes et leurs déformations continues, sans arrachages ni recollements. Les objets étudiés peuvent être soit des objets géométriques - points, lignes, surfaces, volumes et plus généralement des objets de dimension quelconque - soit des espaces de fonctions, ou bien encore des objets plus abstraits, dans des espaces sur lesquels on peut définir une « topologie », c'est-à-dire une structure permettant de formaliser la notion de déformation continue, comme nous le verrons par la suite à travers des exemples. La topologie est l'un des domaines les plus actifs dans la recherche mathématique d'aujourd'hui.

Selon René Thom³, la topologie fut inventée par les philosophes-mathématiciens de l'antiquité grecque, même si ce sujet a commencé à prendre forme comme branche autonome des mathématiques seulement au dix-septième siècle où Leibniz, dans une lettre écrite en 1679 à Christiaan Huygens, a parlé d'une « géométrie » où n'intervient aucune notion de distance, de longueur et d'angle et qu'il avait appelée « analysis situs », analyse de la forme. On rappelle qu'Euler, éminent mathématicien qui était

¹ Stéphane de Gérando est chercheur associé à l'IDEAT CNRS Paris I, Docteur habilité à diriger les recherches, compositeur (Premier prix et 3e Cycle du Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris) et artiste multimédia. Enseignant et directeur de Centres de formation supérieure, directeur de l'icarEnsemble, Stéphane de Gérando est à l'initiative de festivals liés à l'innovation et la création en France depuis 2006. Ses publications ont pour sujets la notion même de création et l'invention numérique de l'image et du son. Accompagné d'un disque monographique en collaboration avec Radio-France, un de ses derniers ouvrages, *Dialogues imaginaires* (Paris, Tschann, coll. « Inactuelles », 2010), retrace ce double parcours de compositeur et de chercheur.

² Athanase Papadopoulos est mathématicien. Directeur de recherche au CNRS (Institut de Recherche Mathématique Avancée, Strasbourg). Ingénieur de l'Ecole Centrale de Paris (1983), doctorat en mathématiques (Orsay, 1983) et doctorat d'état (Orsay, 1989). Plus de 75 articles publiés et 7 livres, il a encadré 8 thèses de doctorat. Professeur invité à Princeton, Genève, Bonn, Florence, Los Angeles, Pise, Lausanne, Aarhus, et Osaka. Il enseigne depuis plusieurs années le cours de Mathématiques et Musique à l'université de Strasbourg, en collaboration avec Xavier Hascher.

³ René Thom, *Aristote topologue*, Revue de synthèse, Bruxelles, Volume 120, No. 1, 1999, p. 39-47.

aussi un théoricien de la musique, a fait une découverte fondamentale en topologie, que l'on peut considérer comme la première dans ce domaine, celle qui établit une relation entre les côtés, les faces et les arêtes d'une classe de polyèdres qui comprend les pyramides, les cubes, les parallélépipèdes rectangles, et d'autres polyèdres. Le nom moderne de cette branche provient de la contraction des mots grecs *topos* et *logos*, signifiant « lieu » et « étude ». Signalons aussi que l'une des premières réalisations qu'Euler a publié en théorie des graphes (théorie qui peut être considérée comme faisant partie de la topologie) est un graphe qui a une signification musicale et que l'on appelle communément Tonnetz, qui a pour sommets les douze éléments de la gamme chromatique, et dont les arêtes permettent de passer d'un élément à un autre par une progression de quinte ou de tierce majeure⁴.

Les concepts topologiques se sont progressivement développés et la plupart des notions ont pris leur forme définitive seulement au vingtième siècle, avec Henri Poincaré.

Nous avons souligné que la topologie est l'étude des déformations continues d'objets qui peuvent être de nature combinatoire (graphes, tétraèdres, polyèdres...) ou analytique (surfaces lisses...). La topologie permet en conséquence de préciser et de formaliser les concepts de déformation, de continuité et de limite.

Citons d'autres concepts, comme les objets topologiques homéomorphes, objets qui entretiennent des relations d'équivalence (identification par certaines propriétés).

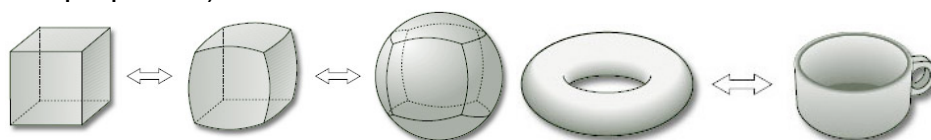


Figure 1 : Exemples de surfaces homéomorphes ou objets topologiques équivalents (cube sphère) (tore tasse) - le gonflement d'un cube donne une sphère (objet sans trou), la déformation d'un tore aboutie à une tasse (objet avec trou)⁵.

Deux objets topologiques sont homéomorphes si on peut établir entre eux une correspondance bi-univoque - correspondance un à un des éléments de deux ensembles - qui est continue (sans déchirement) et dont l'inverse est continue. Un cas particulier d'homéomorphisme est celui de similarité ou affinité⁶.

⁴ Pour les travaux d'Euler sur la musique et la topologie en particulier, on renvoie le lecteur intéressé à l'ouvrage collectif *Euler, mathématicien, physicien et théoricien de la musique*, dir. X. Hascher et A. Papadopoulos, à paraître aux Editions du CNRS, Coll. Sciences de la Musique.

⁵ <http://labspace.open.ac.uk/mod/resource/view.php?id=381785>.

⁶ déjà utilisé en musique, notamment, au niveau des temps, comme une transformation où l'échelle est multipliée par une certaine valeur.

Aux objets de la topologie sont associés des invariants, qui peuvent être de nature algébrique, combinatoire ou analytique. Ces invariants contribuent à la classification des objets étudiés, en ce sens que si l'on sait que deux objets donnés n'ont pas les mêmes invariants, on sait alors qu'ils ne sont pas homéomorphes.

Donnons quelques exemples d'espaces topologiques.

Les surfaces évoluant dans l'espace tridimensionnel sont des exemples d'objets topologiques. Une même surface topologique peut avoir des manifestations différentes comme sous-surface de l'espace de dimension trois : elle peut avoir une multitude de sommets, de creux..., reflétant le fait qu'une même surface hérite de plusieurs géométries différentes, même si la surface reste la même du point de vue topologique.

Une classe d'espaces dont l'étude (classification, invariants, etc.) occupe une bonne partie des topologues est la classe des complémentaires des nœuds dans l'espace tri-dimensionnel. Un nœud est un objet homéomorphe à un cercle (on peut le concevoir comme un lacet fermé et sans auto-intersection contenu dans l'espace de dimension trois). Le complémentaire du lacet (l'espace ambiant privé de l'ensemble des points sur le lacet) est une variété de dimension trois, qu'on appelle « complémentaire d'un nœud », ou plus simplement « nœud ». Une partie très importante du travail réalisé en topologie au vingtième siècle était tournée vers la question de la classification des nœuds.

Plus généralement, on peut classer sommairement la topologie en quatre branches (d'autres classifications sont possibles) :

- la topologie générale, qui étudie les formes et déformations des objets sans distinction,
- la topologie combinatoire, qui étudie les objets combinatoires (graphes, polyèdres, etc.) et son extension en topologie PL (linéaire par morceaux),
- la topologie différentielle, qui étudie les objets lisses sur lesquels on peut appliquer des méthodes de calcul différentiel ou calcul des variations,
- la topologie algébrique qui associe aux espaces des objets algébriques (groupes, anneaux, espaces vectoriels, etc.).

Du point de vue axiomatique, munir un ensemble d'une structure topologique, c'est le munir d'une classe de sous-ensembles distingués (que l'on appelle ouverts), qui vérifient certaines propriétés quant à leurs réunions et leurs intersections mutuelles. Dans le développement de la théorie, ces ouverts sont utilisés pour définir les notions de limite, de continuité, et d'homéomorphisme.

On peut voir la topologie comme une sorte de géométrie très souple, où intervient la notion de forme, mais pas la notion de distance. La géométrie, avec les divers sens que l'on peut donner à ce mot, soit définie par un groupe

de transformations, ou bien comme un système régi par un certain groupe d'axiomes ou bien encore comme un espace muni d'une distance (l'espace euclidien, la sphère, etc.) vérifiant quelques propriétés d'homogénéité, de symétrie, etc., est une science beaucoup plus rigide que la topologie. En ce sens, il n'y a pas "une géométrie", mais "des géométries" ; par exemple, la géométrie euclidienne à laquelle nous sommes habitués (au moins à celle de dimension deux ou trois), la géométrie sphérique, autre sujet classique (des travaux importants sur la géométrie sphérique remontent à l'antiquité grecque), et la géométrie hyperbolique (ou lobachevskienne) sont des cas particuliers de géométries, celles que l'on appelle les géométries à courbure constante. William Thurston, que l'on peut considérer comme l'un des plus importants mathématiciens du vingtième siècle, a travaillé sur la classification des géométries en dimension, trois, il en a dégagé huit.

Si un espace est muni d'une métrique, c'est-à-dire d'une notion de distance entre deux points, il lui est associé naturellement une topologie. Les ouverts de la topologie sont définis à l'aide de la fonction distance, en prenant comme base l'ensemble de toutes les boules ouvertes, c'est-à-dire l'ensemble des points à distance plus petite qu'un certain nombre de points donnés. Les espaces métriques constituent aussi une classe d'exemples importants d'espaces topologiques.

Dans les espaces métriques, on peut utiliser la notion de distance et parler de propriétés topologiques en terme de distance. Par exemple, on peut exprimer la convergence de suites en termes de distance à un point tendant vers zéro. On peut parler aussi de suite tendant à l'infini, si la distance des éléments de la suite à un point donné tend vers l'infini. A un espace topologique on associe une dimension topologique. A un espace métrique, on peut associer d'autres notions de dimension, notamment la dimension de Hausdorff ou dimension fractale.

Le travail du topologue, comme d'ailleurs celui du mathématicien en général, concerne la description des objets, la découverte de leurs propriétés, leur classification, et la recherche d'invariants. On sait que le critère principal pour qu'une théorie mathématique soit intéressante, est d'ordre esthétique. De là à passer à l'art et à la musique, le pas est déjà franchi.

FORME ET DEFORMATION CONTINUE : PREMIERES ANALOGIES

A partir des notions de forme et de déformation continue définissant la topologie, nous introduisons des analogies empruntées au vocabulaire courant ici plus particulièrement musical.

Forme

La notion de forme, dans le cadre de la musique savante par exemple, est historiquement principalement associée à la façon d'organiser le temps,

comme si la distribution des événements musicaux dans le temps pouvait avoir « une forme ». Si dans le domaine visuel ou des arts plastiques l'objet en soi semble naturellement porter la notion de forme, la musique transpose cette notion à sa caractéristique première, un art qui se définit dans le temps et dans l'espace.

Pour André Hodeir, « genre, style et structure », sont trois termes qui permettent de mieux appréhender la notion de forme en musique. L'anthem, l'aria, le motet, le rondeau, le lied..., autant d'exemples d'appellations musicales décrivant des formes spécifiques, des organisations de l'œuvre en parties et sous-parties, en référence à des époques, des procédés d'écriture et « langages musicaux ». Elargissant le propos, Ivanka Stoïnova décrit leurs évolutions classiques à travers une classification des structures répétitives et symétriques « simples » ou « complexes », de types binaires (deux parties) ou ternaires par exemple (trois parties), avec des principes d'empilement ou d'emboîtement plus ou moins complexes de ces mêmes schémas. Il n'est pas utile ici d'insister sur le rôle historique d'un compositeur comme Beethoven face à l'éclatement des formes musicales classiques menant au romantisme et à la période moderne, que se soit en terme de dimension, d'organisation ou de proportion. La période contemporaine verra se développer de nouveaux enjeux défiant l'apogée d'une conception déterministe et prévisible de la forme. L'évolution du langage, les notions de timbre, de contingence, d'imprévisibilité, d'ouverture, de désordre, d'entropie et de hasard participent au XXe siècle à une conception « libérée » des schémas formels déterminés.

Déformation continue

Le seul concept de forme ne suffit pas pour entrevoir un lien avec la topologie : nous nous interrogeons sur la notion de déformation continue appliquée à la structure d'une œuvre, dans le prolongement de notre première remarque.

Si l'on revient à une histoire de la musique savante occidentale tendant vers un déterminisme de la forme jusqu'à la fin du XIXe siècle, à l'image de la définition même du déterminisme scientifique transposée au domaine musical, il apparaît que jusqu'à cette époque les compositeurs ont plus cherché à introduire des notions de discontinuité à l'intérieur d'un système continu que l'inverse. Les systèmes modal ou tonal sont en effet principalement fondés sur le principe de répétition et de déformation, faisant écho à la notion de déformation continue d'un même objet exprimée de différentes manières ; d'une notion « continue segmentée » des formes de la fin du baroque et de l'époque classique répond un développement plus linéaire – du mélisme grégorien à l'écriture savante de l'ars nova, de la renaissance à une partie de l'écriture baroque. 1857 symbolise historiquement un renouveau du langage offrant de nouvelles formes de continuités temporelles et spatiales, à l'image de l'écriture de *Tristan et Isolde* de Wagner, ouvrant indirectement la voix aux problématiques du XXe

siècle ; continuum chez Wyschnegradsky, prolifération sérielle du matériau boulézien, métamorphose continue du son chez Scelsi, plus tard les spectraux ou le principe continu d'une hyper complexité combinatoire de Brian Ferneyhough.... Plus encore, les personnages prototypiques et cycliques récurant dans l'œuvre de Messiaen, les illusions perceptives chères à Jean-Claude Risset, les trames micro-polyphoniques et la structuration des ambitus de l'espace et du temps chez Ligeti, les anamorphoses et la création d'un timbre instable micro-intervallique chez Bancquart... autant d'exemples diversifiés qui remettent en cause de manière savante la conception et la perception de la notion de forme, matériau et forme étant indissociablement liés dans leurs évolutions continues.

Morphologie sonore

Si le terme de topologie musicale semble actuellement faire surface, la notion de morphologie sonore ou musicale est plus clairement identifiée historiquement, un peu comme si cette pensée pouvait annoncer les prémices d'un art topologique. Le terme « morphologie » sonore est particulièrement associé à la naissance de la musique concrète et électroacoustique.

Citons ici trois compositeurs, Pierre Schaeffer, Iannis Xenakis et Denis Smalley, chacun proposant des angles d'approches différents de la notion de morphologie.

Fondateur du Groupe de Recherches Musicales à Paris en 1958, Pierre Schaeffer, conçoit avec d'autres collaborateurs le morphophone, appareil à bande magnétique multipiste et à tête de lecture réglable permettant de réaliser des matières sonores inouïes à partir de sons concrets enregistrés puis transformés grâce notamment à des réinjections (boucle décalée) et du filtrage, pour obtenir des matières sonores continues, sources de nouveaux profils ralentis, tremblés, aux enveloppes spectrales modifiées... Le rapport fond /forme déjà présent en arts plastiques dans les écrits et l'œuvre de Kandinsky notamment ou le rapport matière /forme⁷ - chaque matière sonore possédant une forme, illustre l'importance de la notion perceptive de contour, le timbre faisant d'une part figure d'objet stable, et d'autre part l'intensité ou les enveloppes d'amplitude étant au centre de la conception schaefferienne de la forme et de la notion de morphologie. Dans l'exemple ci-dessous emprunté au *Traité des objets musicaux*, Schaeffer classe les genres d'attaque d'un son à travers sept modèles d'enveloppes d'amplitude ou formes élémentaires, comme un écho diffracté au travail de René Thom et ses sept catastrophes élémentaires.

⁷ Wassily Kandinsky, Point et ligne sur plan : contribution à l'analyse des éléments picturaux, trad. de l'allemand par Suzanne et Jean Leppien, Punkt und Linie zu Fläche : Beitrag zur Analyse der malerischen Elemente, nouv. éd. établie, présentée et annotée par Philippe Sers, Paris, coll. Folio/essais, Gallimard 1991.

TIMBRE DYNAMIQUE		1	2	3	4	5	6	7
GENRES D'ATTQUES	Tracé bathygraphique							
	Nature d'attaque Symbole conventionnel	ABRUPTÉ ou explos. ▽ (choc ou pleître) sans résonance appréciable.	RAIDE △ (marteau feutré) avec forte résonance liée	MOLLE ∪ (pizz ou mailloche douce) avec résonateur	PLATE ┌ (pseudo attaque) ou mordant	DOUCE └ son posé sans attaq. apparente	SFORZANDO ou appui △ ou crescendo rapide	NULLE ou très progress. ∩ perception du profil
PRÉDÉTERMINATION DU PROFIL en fonction du genre d'attaque	Profil dynamique	pointe dynamique (choc)	régulier dégressif	renforcem. du résonateur	nul, sauf la pseudo-attaque	profil nul	Profil caractérisé, sons en général courts	seul cas de seuil émergence du profil
	Profil harmonique	son double (= timbres)	appauvrissement	réponse du résonateur	nul dans les instruments tels que l'orgue varié en musique électr. ou cordes	Profils souvent progressifs	Timbrage caractérisé.	Profils le plus souvent liés ou artificiellement indépendants.

Figure 2 : 7 « critères d'attaque » du son ou « genres de formes » fondamentales d'après Pierre Schaeffer, extrait du *Traité des objets musicaux*, Paris, Seuil, 1966, p. 533.

nom des singularités ⁽¹⁾	centre organisateur ou germe ⁽²⁾	déploiement ⁽³⁾ universel (potentiel ⁽⁴⁾ standard)
minimum simple ⁽⁵⁾	$F = x^2$	$F = x^2$
le pli	$F = x^3$	$F = x^3 + ux$
la fronce (catastrophe de Riemann-Hugoniot)	$F = x^4$	$F = x^4 + ux^2 + vx$
la queue d'aronde	$F = x^5$	$F = x^5 + ux^3 + vx^2 + wx$
le papillon	$F = x^6$	$F = x^6 + ux^4 + vx^3 + wx^2 + tx$
l'ombilic hyperbolique	$F = x^3 + y^3$	$F = x^3 + y^3 + wxy - ux - vy$
l'ombilic elliptique	$F = x^3 - 3xy^2$	$F = x^3 - 3xy^2 + w(x^2 + y^2) - ux - vy$
l'ombilic parabolique	$F = x^2y + y^4$	$F = x^2y + y^4 + wx^2 + ty^2 - ux - vy$

Figure 3 : Les 7 catastrophes élémentaires du mathématicien de René Thom.

Cette théorie des catastrophes de René Thom va inspirer François Bayle, électroacousticien, successeur de Pierre Schaeffer à la direction du GRM de 1966 à 1997, Bayle s'intéressant à la notion de limite d'une forme, prolongeant à sa manière la problématique de la segmentation d'un flux sonore développée par Schaeffer puis généralisée par Bayle à d'autres paramètres que l'intensité. D'une certaine manière, le travail de Bayle introduit la notion de forme archétypale en dehors même de la question du matériau, faisant écho aux unités sémiotiques temporelles qui seront développées par des Laboratoires comme celui de Musique et Informatique de Marseille (Marcel Frémot, 1991).

Ce rapport graphique et morphologique à la forme est différemment exprimé mais toujours présent dans l'œuvre du compositeur Iannis Xenakis. Dès son premier opus *Metastaseis* composé en 1954, Iannis Xenakis projette graphiquement de manière continue sur un papier millimétré, le parcours différencié et en glissando de 46 fréquences convergeant sur une seule note et jouées par des cordes, ce glissando massif de plus de 70 secondes étant une première dans l'histoire musicale.

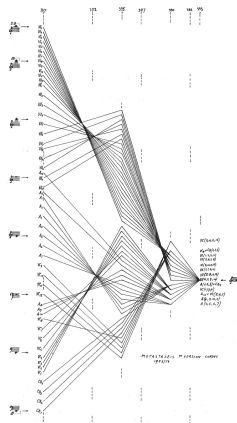


Figure 4 : Graphique de Xenakis, glissando (variation continue de fréquences) jouées par des cordes dans *Metastaseis* (1953-54), mesures 317-333, extrait de *Iannis Xenakis, Musique. Architecture*, Tournai, Casterman, 1976, p.8.

Sa formation scientifique et son expérience en tant d'ingénieur, assistant de Le Corbusier, ont favorisé le développement d'une écriture spatiale et d'une certaine manière « visuelle » ou « architecturale ». L'évolution plus globale de son œuvre répond à des périodes différentes, avec l'utilisation par exemple de la théorie des ensembles comme dans *Herma* pour piano (1961), la théorie des groupes avec *Terretektorh* en 1966, l'orchestre étant spatialisé dans le public, des techniques d'écriture plus graphiques comme l'arborescence, avec les buissons mélodiques de *Mists* (pour piano en 1980) qui subissent des déformations géométriques...

Il serait intéressant d'étudier de quelle manière Xenakis a défini ou redéfini les notions de limite, de continuité, d'invariant... De même lorsqu'il utilise les probabilités ou l'analyse stochastique, c'est pour mieux contrôler la forme de l'évolution des nuages de son, comme la distribution continue d'un millier de pizz-glissandi des cordes de *Pithoprakta* (op.2, 1956), grâce à la loi de Gauss, le mouvement brownien et les marches aléatoires d'*N'Shima* (2 cors, 2 trombones, 2 Mezzo-sopranos, 1 violoncelle, 1975) servent à écrire l'espace en variant les morphologies des lignes mélodiques. Nous pourrions probablement décrire des archétypes topologiques du geste xenakien, tant sa musique est repérable en ce sens. Pour revenir au contexte électroacoustique, Iannis Xenakis fait construire au CEMAMu (Centre d'Etudes de Mathématiques et Automatiques Musicale) dans années 1970 un synthétiseur, l'UPIC, contrôlé graphiquement par geste en dessinant des formes d'ondes et enveloppes d'intensité par exemple, chaque oscillateur ayant sa propre trajectoire. Grâce à une tablette graphique ou une souris, le compositeur organisait la forme globale de son œuvre, le lien entre morphologie et forme graphique étant dans ce cas explicite.

Denis Smalley⁸, compositeur de musique électroacoustique résidant à Londres, s'intéresse quant à lui à la notion de forme, au départ en relation au

⁸ Denis Smalley (16 mai 1946, Nelson, Nouvelle-Zélande).

timbre et ses composantes spectrales. Il développe la spectromorphologie, analyse sonore archétypale à l'aide d'un sonagramme. Cette approche analytique et compositionnelle comporte plus précisément quatre étapes : l'étude des relations de hauteurs pour former différentes typologies sonores, la question des groupements spectraux pour former des archétypes morphologiques, le phénomène des progressions musicales et les processus dits structurants ou de progressions dans le temps. Stéphane Roy remarque que la définition des archétypes morphologiques provient ici de la typomorphologie schaefferienne. Denis Smalley décrit trois archétypes morphologiques sonores correspondant à attaque-impulsion, attaque-chute (fermé ou ouvert) et entretien-gradué, associés à cinq progressions de base, unidirectionnelle, bidirectionnelle, réciproque, centrale/cyclique, et excentrique/multidirectionnelle. Ces archétypes servent aussi l'étude de la structure générale de l'œuvre et la caractérisation de ces différents niveaux d'organisation.

Relations son – lumière - forme

Le 22 septembre 2004 débutait au Centre Pompidou à Paris une rétrospective de plus de 400 œuvres intitulée *Son et lumière – Une histoire du son dans l'art du XXe siècle*⁹.

Dans la première partie, « correspondances », la musique était présentée comme ayant participé au développement de l'abstraction en peinture, vers 1910, puis avec d'autres moyens techniques (photographies, films, dessins animés, machines lumineuses...).

La seconde partie, « empreintes », montrait des œuvres ayant cherché à convertir les images en sons et réciproquement (enregistrement direct des sons, photographie des ondes électriques produites par les oscilloscopes cathodiques, environnement vidéo interactif...).

Le thème de la dernière partie, « rupture », nous entraînait vers des correspondances improbables; hasard, bruit, silence.

A travers cette relation entre son et lumière, cette exposition résumait à sa manière une nouvelle évolution de la notion de forme et d'espace au XXe siècle.

Vassily Kandinsky évoque pour *Impression III* (1911) « le destin spécifique, le cheminement autonome, la vie propre enfin des voix individuelles » qu'il cherche à peindre en pensant à la musique d'Arnold Schoenberg. Kandinsky critiquait Wagner pour avoir additionné plus que composé un art total, cherchant la fusion des modes d'expression tout en reconnaissant une spécificité à chaque art comme la peinture, musique, poésie et danse. Par analogie, des topologies picturales font écho aux formes musicales (*Conception Synchromy*, Stanton Macdonald-Wright, 1914), aux rythmes (*Nocturne*, Kupka, 1911 et *Number 26 A, Black and White*, Jackson Pollock,

⁹ Catalogue de l'exposition, *Sons & Lumières. Une histoire du son dans l'art du 20e siècle*, Paris, éditions du Centre Pompidou, 2004.

1948), aux structures musicales (*Fugue en rouge*, Paul Klee, 1921 et *New York City I*, de Piet Mondrian). Grâce aux évolutions techniques, les artistes ou inventeurs cherchaient à créer des analogies plus directes, du piano optophonique de Vladimir Baranoff-Rossiné (1922-23), au Kineidoscope de Stanton Macdonald-Wright (1960-69).

PERSPECTIVES

La topologie comme outil d'étude et d'analyse

On sait que la topologie est utilisée en linguistique, dans la représentation spatiale et temporelle ; on sait aussi qu'elle est utilisée en psychanalyse, dans la description de la structure de l'inconscient. Plus généralement, dès que l'on parle de forme, de continuité, de discontinuité, de nœud, de dimension, la topologie peut être un outil de réflexion, de formalisation, d'analyse et d'invention.

En lien avec les sciences cognitives, la topologie servirait une approche différente de l'analyse musicale. Le découpage du discours en morceaux élémentaires, dont la forme (dans un sens topologique) nous renseigne sur le contenu permet de faire le lien entre forme et signification. L'analyse porterait aussi sur les notions de stabilité structurelle, liée au découpage linguistique ou musical d'un discours, qui rentrerait dans le cadre de la stabilité structurelle de René Thom (notion de mode stable)¹⁰. Une notion de bifurcation conduit à une notion de complexité définie comme nombre de bifurcations élémentaires qu'il est nécessaire d'appliquer à un système donné pour passer d'un état à un autre, pour créer l'objet, ou bien l'anéantir. Le langage des catastrophes est une théorie qui permet de décrire les notions de point régulier et de point singulier et leur évolution. Le langage musical est un cadre idéal pour appliquer les théories de Thom, complétée par celle de Zeeman. Cette théorie permet aussi une représentation mathématique des processus neuro-psychologiques, et plus généralement, d'inclure cette étude dans le cadre des systèmes dynamiques (une branche des mathématiques étroitement liée à la topologie). En théorie des systèmes dynamiques, on a des notions d'attracteur, d'état asymptotique, d'évolution en termes de champs de vecteurs ou champs de directions... Une œuvre musicale, avec son évolution, pourrait être considérée comme un système dynamique au sens mathématique. La topologie aiderait à comprendre des questions de proximité et de limites à l'infini. On pourrait aussi ajouter les questions liées à la reconstruction d'un objet à partir de ses projections, ou à partir de son contour apparent.

¹⁰ René Thom, *Stabilité structurelle et morphogénèse : essai d'une théorie générale des modèles*, 2^e éd. revue, corrigée et augmentée, Paris, Interéditions, 1977.

La topologie comme aide à l'invention d'un métalangage poly-sensoriel

Une des difficultés de l'artiste contemporain est de concevoir ou d'utiliser un langage ou système d'écriture suffisamment puissant et cohérent pour entrevoir un art poly-sensoriel, soit de nature spécifiquement virtuelle comme pour des environnements immersifs, ou bien alors dans des cadres de réalisations hybrides, réalité augmentée ou simple mixage des pratiques artistiques ; danse, théâtre, vidéo, musique... L'enjeu du XXI^e siècle est à la fois conceptuel et technologique, la superposition ou l'accompagnement d'une musique sur image vidéo ou un corps en mouvement (pour donner un exemple) n'étant plus suffisant. A l'image du monde qui nous entoure, il y a bien un jeu d'invention de complémentarité ou de complétion dans l'articulation des sensations, une lumière pouvant s'enchaîner à un son de manière toute aussi cohérente que des sons entre eux. Cette problématique artistique n'est naturellement pas nouvelle, la vision d'un art total à la fin du XIX^e siècle faisant écho aux siècles des explorateurs courageux du XX^e siècle, de Scriabine à Koenig.

Dans cette perspective unificatrice d'une écriture des sens, la topologie peut servir à envisager de nouvelles cohérences.

« Etude de cas imaginaire »

En tant que spectateur, nous nous trouvons au centre d'un dispositif multimédia, composé d'un écran central et deux écrans latéraux, une danseuse, une chanteuse, le spectateur se trouvant entouré de huit enceintes. Le lien entre l'écriture du son et de la lumière passe ici par une écriture morphologique du mouvement. Une morphologie de mouvement se traduit de deux manières : des profils prototypiques de type géométrique que l'on peut visualiser et entendre en tant que tel associés à une suite de grandeurs singulières répondant à des processus d'invention de formes qui peuvent être abstraits, de nature combinatoire, algébrique, ou liés aux calculs différentiels.

Cette double approche diffère d'une conception morphologique « de type schaefferienne » et de nombre de musiques de cette seconde partie du XX^e, la notion de contour n'étant ici pas suffisante ni même prioritaire pour envisager des cohérences formelles. Le nombre de dimensions des formes ici est illimité ou plus exactement limité par la matière elle-même et les techniques qui permettent de la contrôler. Par exemple, les seuls mouvements de la danseuse sont dépendants notamment des limites de l'articulation du squelette et des positions spatiales du corps. D'une autre manière, un nombre déterminé de paramètres contrôle simultanément la synthèse des objets sonores visuels. Ces OSV (objets sonores visuels) peuvent être représentés par des ensembles de points sonores et visuels, formes élémentaires, comme des grains sonores (sinusoïdaux, impulsions) ou visuels (pixel...) donnant lieu à des formes complexes grâce à une

synthèse hybride de type additif ou granulaire, par exemple.

La dimension des objets peut atteindre des grandeurs inhabituelles, un espace à 500 dimensions pour traduire les positions spatiales et élémentaires du squelette selon René Thom¹¹, ajoutée à plus d'une centaine de paramètres de contrôle simultanés rien que pour le contrôle d'un grain sonore comme dans le projet « CA » (Creative Algorithm¹²). Nous pourrions ici envisager des objets à plus de 10 000 dimensions subissant des variations en deçà de 10 millisecondes.

Mais l'être humain a déjà des difficultés à percevoir 4 dimensions ! Une œuvre bien construite et tout à fait cohérente au niveau d'une organisation symbolique peut n'avoir aucun intérêt, ni en terme de perception, ni en terme de signification. En fonction des aspects cognitifs par exemple, l'organisation hiérarchique de ces paramètres est une nécessité. Les sciences cognitives aident ici à enrichir notre approche topologique : dans le domaine plus spécifiquement visuel, l'émergence d'une forme relève de principes fondamentaux comme la distinction entre figure et fond, la présence de la notion de contour et le principe d'unification ou de groupement relevant des lois de la Gestalt. La distinction figure/fond pose des questions d'orientation de la forme, de grosseur relative, d'inclusion, d'articulation interne, de symétrie et de rapport au contexte. Le contour d'une forme naît quant à elle d'une discontinuité produite par un contraste, de contours subjectifs, illusoire ou cognitifs, d'une interpolation visuelle. Les principales lois de la Gestalt sont bien connues, loi de la bonne forme qui indique qu'un groupement se fait grâce à des principes de stabilité et de symétrie, lois de bonne continuité, de proximité et de similitude, loi de destin commun symbolisant une trajectoire commune, loi de clôture, une forme fermée étant plus facilement identifiable par une figure qu'une forme ouverte. Dans le domaine sonore, Stephen McAdams rappelle que les dimensions porteuses de formes dépendent aussi du nombre d'encodage possible, avec une perception humaine qui serait plus ou moins sensible selon la perception de certains paramètres sonores. Il suggère en effet que la hauteur et la durée soient des dimensions porteuses de formes fortes, que les dimensions de timbre soient de puissance moyenne et que le taux de vibrato ou la localisation spatiale soit très faible, insistant sur l'importance de la « discrétisation » des dimensions musicales dans le processus de création de forme. Nous avons des difficultés à mémoriser des entités continues ou difficilement distinguables, contrairement aux entités discrètes. Ces remarques soulignent la complexité d'un art topologique fondé sur des analogies spatiales géométriques complexes.

Les objets projetés sont ramenés à un espace euclidien familier à 3 dimensions plus le temps, où les objets sont caractérisés par leurs

¹¹ René Thom, « Partitions du vivant », *Danses Tracées*, collectif sous la direction de Laurence Louppe, Barcelone, Dis voir, 2005, pp. 73-93.

¹² Stéphane de Gérando, « CA » – Creative Algorithm – œuvre virtuelle interactive temps réel, Bordeaux, 3icar IcarÉditions, 2010, 10 pages, convention ESEIRB /3icar, ingénieur stagiaire, Tony Héron.

coordonnées cartésiennes, des n-uplets de nombres. Un mouvement serait une courbe dans cet espace.

Chaque OSV est considéré comme la molécule d'un fluide, et, par l'interpolation du déplacement, on peut construire une dynamique des milieux continus qu'on peut considérer comme fluide. Une des problématiques est de définir la déformation globale de l'ensemble de ces OVS au cours du temps, déformation par expansion/contraction ou par contraction. Dans l'expansion, l'OSV se dilate dans un espace plus grand, la contraction étant l'inverse. Le tout est lié à l'existence de singularités, de points fixes rétracteurs pour la contraction, répulseurs pour la dilatation. Il peut aussi y avoir des déchirures, des formations secondaires... La composition se fait ici à travers l'écriture du rapport de chaque OSV. En établissant par exemple une correspondance bi-univoque impliquant une identification par certaines propriétés, nous créons des objets sonores et visuels topologiques homéomorphiques (OSVTH) en lien avec l'espace de projection, toujours à partir de l'opposition expansion, dilatation, et en déterminant avec finesse les états de concordances et de discordances entre les deux. On envisage une topique de chaque OVS individuel décrivant un geste élémentaire voire un contenu affectif répulsion attraction. Ajoutons au déplacement spatial une notion de coloration donnée par le topique de chaque OSV qui apparaîtrait comme une dérivée au sens mathématique local du champ.