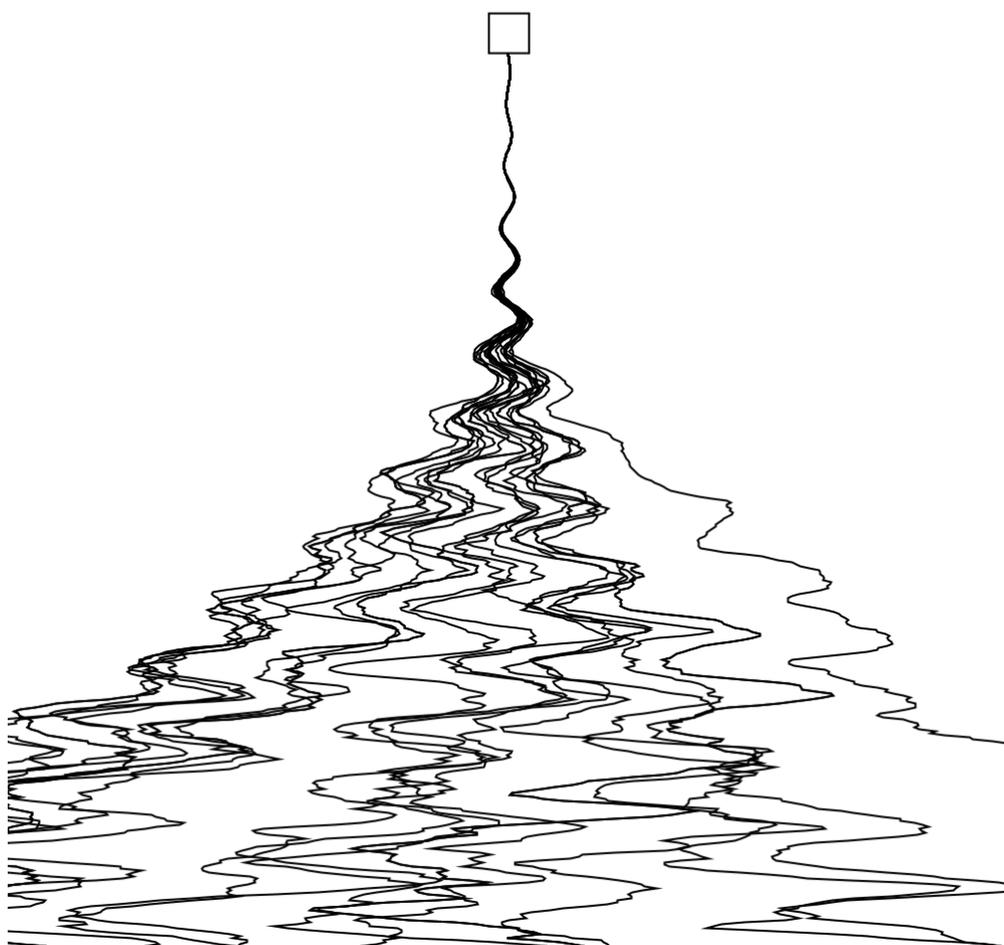


Mémoire de fin d'étude

Année 2023-2024

# **SignalDrift**

## **Transmission de l'information**

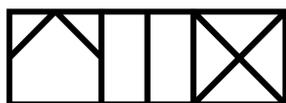


**Présenté par Vivien Perrot**

Sous la direction de Peter Sinclair, professeur artistique et chercheur au laboratoire Locus Sonus

Mémoire présenté le 28/01/2025, devant un jury composé de

Marie Adjedj  
Sophie Lapalu  
François Parra



ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ART  
D'AIX EN PROVENCE  
FÉLIX CICCOLINI

# POSTFACE

Ce mémoire de fin d'étude est l'aboutissement de mon parcours artistique durant ces six années passées à l'Ecole Supérieure D'Arts Dunkerque / Tourcoing puis à l'Ecole Supérieure d'Arts d'Aix-en-Provence Félix Ciccolini. Il a été rédigé afin de remplir les exigences d'obtention du diplôme du DNSEP (diplôme national supérieur d'expression plastique).

Intitulé « SignalDrift - Transmission de l'information », ce mémoire vous est présenté en accord avec les connaissances accumulées lors de ma formation en école supérieure d'art, enrichies par mes expériences personnelles. Le processus de recherche et d'écriture de ce mémoire a débuté en novembre 2023 et s'est achevé en juin 2024.

Cette recherche est née d'une réflexion sur les relations que nous entretenons entre nous, avec notre environnement, et avec les techniques liées aux signaux et aux théories qui en découlent. Certains concepts et termes spécifiques sont issus de mon intérêt personnel et occupent une place centrale au cœur de ma pratique des ondes. Mon intention est d'offrir une approche détaillée de ce qui compose et définit mon environnement, ainsi que la manière dont j'interagis avec.

L'écriture fut complexe, mais bénéfique : elle m'a permis de développer mes connaissances et d'aborder de nouveaux concepts théoriques et artistiques de façon approfondie.

Je dois toutefois reconnaître que la direction très théorique qu'à prise ma recherche aurait peut-être dû rester en retrait par rapport à la dernière partie, davantage tournée vers une réflexion artistique. J'aimerais dans le futur, approfondir la conclusion de ce mémoire dans le cadre d'une recherche doctorale.

Je souhaite remercier chaleureusement mon directeur de mémoire Peter Sinclair pour ses conseils et son soutien tout au long de ce processus. Et ce travail n'aurait pas été possible sans l'aide précieuse de François Parra qui a su me guider vers des pistes particulièrement stimulantes. Je remercie également mes amis et de ma famille, dont le soutien a été une source essentielle de motivation. Une reconnaissance toute particulière à ma mère, dont l'aide remarquable a été déterminante pour l'écriture et le développement de ce mémoire. tes conseils m'ont, depuis toujours, profondément que guider.

En espérant que vous apprécierez votre lecture.

Vivien Perrot

Marseille, 4 avril 2025.

# TABLE DES MATIÈRES

<u>Postface</u> .....	III
<u>Avis à l'auditeur</u> .....	5
<u>Partie 1 – Définitions</u> .....	7
<u>1) L'information transmise</u> .....	7
<u>a. L'information</u> .....	7
<u>b. Le signal</u> .....	7
<u>c. Le système de communication</u> .....	8
<u>2) Le médium, moyen de communication</u> .....	9
<u>a. Origine du médium</u> .....	9
<u>b. Applications &amp; définition</u> .....	9
<u>Partie 2 – Les signaux dans le système de communication</u> .....	11
<u>1) Perception des signaux</u> .....	11
<u>a. L'information, essentielle à la perception</u> .....	11
<u>b. La sémiotique, étude du signifiant</u> .....	11
<u>c. Processus “stimulus-réponse”</u> .....	13
<u>d. Les dispositifs de télécommunication</u> .....	13
<u>2) Les signaux, ondes de notre environnement</u> .....	15
<u>a. Fondamentaux</u> .....	15
<u>b. Les ondes mécaniques</u> .....	16
<u>c. Les ondes électromagnétiques</u> .....	16
<u>d. Les ondes biologiques</u> .....	18
<u>e. L'électricité et le traitement des signaux</u> .....	19
<u>3) Représentation morphologique des signaux</u> .....	23
<u>a. Notation prescriptive et descriptive</u> .....	23
<u>b. Imagerie du signal</u> .....	25
<u>c. Un processus de recherche paramétrique</u> .....	27
<u>d. Recherche d'une typo-morphologie</u> .....	28
<u>e. Les unités sémiotiques temporelles</u> .....	30
<u>Partie 3 – Une transformation obligatoire</u> .....	33
<u>1) Détermination par le médium</u> .....	33
<u>a. La théorie de l'information</u> .....	33
<u>b. Un environnement bruyant</u> .....	34
<u>c. Le médium est le message</u> .....	37
<u>2) Un cycle d'auto-création</u> .....	40
<u>a. Faire “effet”</u> .....	40
<u>b. Un échange dans un renouvellement des formes</u> .....	42
<u>Conclusion</u> .....	44
<u>Bibliographie</u> .....	45

# AVIS À L'AUDITEUR

A cet instant même, vous écoutez ma voix, mais est-ce réellement aussi simple ? Un jour précédent, mon cerveau a émis l'intention de formuler ces phrases en créant un signal électrique transmis par mes neurones aux muscles de mes cordes vocales et de ma bouche pour émettre une onde sonore. Elle a traversé l'air vers un microphone. La membrane de ce microphone va à son tour vibrer en fonction de la pression acoustique soumise à l'onde sonore émise. La vibration de cette membrane a été immédiatement convertie en un signal électrique variant qui va parcourir un câble de cuivre jusqu'à un magnétophone. Celui-ci fait défiler devant sa tête d'enregistrement, composée d'un électro-aimant, la bande magnétique de la cassette que vous êtes en train d'écouter qui s'aimante sous l'influence du champ magnétique, proportionnel à l'intensité du courant électrique qui traverse la tête. Cette variation dans le temps est stockée sur la longueur de la bande magnétique pour être lue par la tête de lecture du magnétophone que vous possédez. Elle convertit les variations magnétiques de la bande en un signal électrique transmis dans le câble de cuivre vers les hauts-parleurs du casque que vous avez sur la tête. Ils vont à leur tour émettre une onde sonore jusqu'à vos oreilles. La structure interne de celles-ci va vibrer à leur tour et convertir les informations sonores en signaux électriques qui sont interprétés par votre cerveau en ce moment même. Celui-ci s'investit dans la tâche de comprendre le message qu'il reçoit.

Vous comprenez alors que le fait de "simplement" m'écouter implique des interactions bien complexes auxquelles nous ne pensons pas spontanément. Ce son de ma voix, vous le recevez en fonction de ses différentes variations dans le temps, et de son état qui change d'un médium à un autre. Ce même son que je prononce, pareillement que la lumière qui vient frapper vos yeux, est intrinsèquement lié à ce que vous percevez, autant des signaux que votre corps vous envoie ou que votre cerveau crée, autant ceux que vous recevez de votre environnement au quotidien.

Zbigniew Karkowski, un artiste sonore qui place les signaux au cœur de son travail et que j'affectionne particulièrement, dit : "d'un point de vue très réel, au cœur de nos existences physiques, nous sommes composés de son et toutes les manifestations de formes dans l'univers ne sont rien d'autres que des sons qui ont pris forme visible"<sup>1</sup>.

Cela questionne la nature même du signal et son rapport au monde : qu'est-il ? Que transporte-t-il ? Comment se transmet-il ? En quoi définit-il les interactions entre les êtres vivants, les machines et les objets ? Comment le représentons-nous ? Comment l'utilisons-nous ?

Ces premiers questionnements seront survolés dans leurs grandes lignes lors des définitions des termes qui gravitent autour des signaux. Ils seront ensuite détaillés dans des descriptions complexes qui abordent comment les signaux sont perçus par l'homme, et comment les communications s'organisent dans notre environnement. Après cela seront énumérées toutes les formes de signal dans leurs interactions avec le milieu qu'ils traversent et la façon dont nous les utilisons à travers différents moyens techniques. Enfin sera abordé la manière que nous avons de les représenter, de les noter à la fois pour la recherche scientifique et la création artistique. Nous verrons par ce dernier point les différentes réflexions autour d'une classification du phénomène sonore constituant la recherche d'une démarche artistique autour d'une description morphologique du signal.

Mais ce n'est pas tout, car un autre problème survient : est-on sûr que le son que votre oreille reçoit est celui que j'ai émis ? En passant par de multiples médiums chargés de transmettre le signal, l'information sonore n'est-elle pas transformée dans le processus ? En étant soumis à de telles conversions des différents états imposées par les médiums qu'il traverse, il existe effectivement une probabilité que le signal de sortie diffère de celui d'entrée.

Ce questionnement sera abordé dans la dernière partie de cette réflexion : j'y traiterai la nature même de cette transformation et ses conséquences dans notre quotidien, les différents types d'altération de certains signaux et je me demanderai comment cela peut mener vers un processus de création sur un renouvellement constant des formes.

# DÉFINITIONS

## 1) L'information transmise

### a. L'information

“L'information” peut sembler une notion commune, utilisée relativement souvent et sa compréhension paraît intuitive, bien qu'elle recouvre différents sens. Chacun a une idée générale de ce qu'elle représente, sans pour autant avoir une définition précise en tête. Certains vous parleront des informations de telle heure à telle heure à la télévision ou à la radio, d'autres vous parleront de probabilité, d'économie, de psychologie. Les plus fous vous parleront même de physique quantique. Et pourtant, dans leur acceptation quotidienne de la notion d'information, ils ont tous quelque part raison, sans pour autant que celle-ci repose sur une définition commune. En réalité, il n'existe pas de définitions précises et faisant consensus du concept “information”. De multiples définitions subsistent et se côtoient selon les disciplines.

Les conceptions modernes de l'information sont nombreuses et vagues. Il est donc important de noter que le besoin de bien définir ce concept s'éprouve dans de nombreux domaines notamment les plus techniques où elle peut porter à confusion. Il est nécessaire de disposer d'une définition précise, accordée au processus de transmission, qui nous permette de saisir les règles, les propriétés qui l'encadrent.

Pour donner un socle de départ commun, il faut comprendre de quelle manière elle est utilisée. Son terme venant du latin *informare* renvoie à la faculté de modeler, de donner forme, d'instruire. L'information c'est prendre “connaissance” de quelque chose. Elle est une invention des êtres vivants, elle est immatérielle. Pourtant, elle leur/nous est utile pour définir un mouvement de compréhension et d'analyse de leur/notre environnement. Elle n'est pas de manière innée une information, il n'y a pas un état informatif : il faut une démarche pour que l'information prenne son envol.

### b. Le signal

Le signal est le transmetteur de cette information. Il est le vecteur perceptible, dans un acte de transmission qui lui donne forme. Une information sans transmission, sans son mouvement, n'existe tout simplement pas. Dans le monde physique, c'est-à-dire celui où l'information possède sa matérialité observable, il se comporte comme une variation d'une grandeur physique mesurable et/ou détectable. Elle varie en fonction du temps, de l'espace ou d'une autre variable indépendante.

Il faut voir cette variation comme une énergie se déplaçant dans le flux constant de notre environnement, elle contient les informations sur les caractéristiques de ce qu'elle traverse, les objets et événements à un instant donné et sur la succession de ces états. “L'énergie n'est pas l'information mais l'énergie contient l'information”<sup>2</sup>.

### c. Le système de communication

L'information transportée par le signal s'inscrit, fondamentalement, dans le système de communication basique dans l'ordre suivant : source - message - émetteur - signal - canal - signal reçu - message - récepteur - destinataire. Par exemple lorsque je crie "tout de suite !" à un ami qui m'appelle, je suis l'émetteur, lequel s'identifie pratiquement avec la source ; l'air à travers lequel voyagent les ondes sonores que j'ai émises est le canal ; "tout de suite !" est le message qui atteint finalement les oreilles, les récepteurs de mon interlocuteur ; le destinataire. De ce point de vue, le message équivaut à l'information transmise, isolée qui, s'ajoutant à d'autres, permet de constituer un message plus complexe.

C'est un schéma qui peut paraître naturel aujourd'hui, mais il n'en était rien à l'époque de l'apparition au 20e siècle des premières théories autour de l'information : pour la première fois, on y distinguait clairement le rôle de la source, du canal, du signal et du destinataire ; de l'émetteur et du récepteur. Claude Shannon, mathématicien et ingénieur en information, est à l'origine de cette structure quand il écrit en 1948 un article nommé : *A mathematical Theory of Communication*<sup>3</sup>. Le paradigme de Shannon eut un impact dans toutes les sciences, jusque dans les sciences humaines.

Ce système de communication est à la base de l'organisation de nos vies car les signaux en sont la matière première grâce à quoi tout être ou objet communique avec d'autres.

## 2) Le médium, moyen de transmission

### a. Origine du médium

Le médium comme l'information, possède une variété de définitions dans des domaines bien différents : la chimie le définit comme substance facilitant la combinaison de deux ou plusieurs autres corps, la musique comme terme désignant une partie moyenne entre le grave et l'aigu et il existe bien d'autres significations encore.

Son utilisation se démarque cependant dans un domaine de l'Histoire : il possède un rapport avec le spiritisme, cette activité où une personne se dit capable de recevoir les messages des esprits. A la fin du 18e siècle, la curiosité du grand public de l'époque se dirigeait vers les apparitions médiatisées. De nombreux médiums commencent à se faire connaître. Les sœurs Fox font partie des plus connues : elles ont déclaré être entrées en contact avec un esprit qui émettait des coups et des bruits de pas dans leur maison pour communiquer avec elles. Elles servaient d'intermédiaires, et en leur présence, toute personne pouvait entrer en contact avec les esprits, du moins c'est ce qu'il se disait à l'époque.

A cette même époque, certaines inventions électriques qui voyaient le jour posaient par la même occasion des questionnements sur un rapport avec les esprits. Thomas Edison, animé par la volonté de faire parler les morts, inventa le phonographe, premier appareil pouvant enregistrer du son de manière mécanique. Le terme médium ne désignait alors pas qu'une personne aux capacités surnaturelles de communication avec les esprits, mais aussi les nouvelles machines de communication de l'information.

Il est bien sûr peu pertinent d'associer le médium uniquement au spiritisme aujourd'hui. En même temps que ce mouvement se popularisait, se développaient les moyens de communication à longue distance. Au 18e siècle, le télégraphe électrique était le précurseur des systèmes de communication modernes. L'Humanité opérait alors une mutation complète et majeure dans le cadre de la révolution électrique. La radio, la télévision, nos smartphones et nos ordinateurs connectés au web sont des médiums qui possèdent une place importante dans notre quotidien, des médiums qui se définissent maintenant largement comme des médias. Media ici dans le sens anglophone du terme comme un moyen, une technique et un support de diffusion massive de l'information.

### b. Applications & définition

Tout processus impliquant un transfert d'une information inclut un médium. Il est, par définition, "ce qui sert de support et de véhicule à un élément de connaissance ; ce qui sert d'intermédiaire, ce qui produit une médiation entre émetteur et récepteur"<sup>4</sup>.

Le médium, dans ce but de communication d'un signal, est donc un moyen de transmission de l'information contenue dans le message incluant une émission et une réception de celui-ci. Il n'apparaît pas seulement dans les techniques de communications modernes inventées et utilisées par notre espèce mais il apparaît dans toutes interactions d'individus ou objets incluant une émission et une réception qui usent des médiums pour transmettre un signal. Ce médium est un moyen technique de transporter l'information, un espace de transition essentiel pour le système de com-

munication entre une source et un destinataire. Il se situe de ce fait au milieu du schéma du système de communication, entre l'émetteur et le récepteur. Le médium s'inclut donc dans des interactions comme l'émission d'une onde sonore dans l'air ou dans l'eau, les ondes lumineuses du soleil qui se déplacent dans l'espace jusque dans les interactions biologiques complexes qui font fonctionner nos corps.

Un médium agit rarement seul pour permettre une communication, l'information transmise passe automatiquement à travers plusieurs processus pour atteindre un destinataire. Imaginons l'action de parler à travers une communication téléphonique entre deux personnes. Lorsque l'une d'elles parle, son cerveau manifeste l'intention à ses cordes vocales qui vont vibrer pour émettre des ondes sonores, transportée dans l'air pour que la membrane du micro du téléphone vibre à son tour, la voix est ensuite numérisée et retransmise à l'aide d'ondes électromagnétiques. L'autre téléphone convertit les informations numériques du signal électromagnétique reçu en ondes sonores émises par les haut-parleurs de l'appareil pour atteindre l'oreille de l'autre interlocuteur. Elles traversent l'air pour que son cerveau puisse recevoir le message. L'information passe ici à travers de nombreux médiums pour transmettre un message dans une communication téléphonique. Si on élargissait l'observation à d'autres actions quotidiennes que nous sommes susceptibles d'effectuer comme simplement discuter avec quelqu'un, démarrer une voiture, écouter de la musique, lire un affichage publicitaire, regarder la télévision et bien d'autres, alors les médiums par lesquels se transmet l'information deviennent nombreux en sachant que l'exemple ci-dessus a été décrit de manière simplifiée. On peut alors parler de dispositif utilisant de multiples moyens de transmission, un espace "médiatisé"<sup>5</sup> dans lequel le flux de l'information peut librement se glisser.

# LES SIGNAUX DANS LE SYSTÈME DE COMMUNICATION

## 1) Perception des signaux

### a. L'information, essentielle à la perception

Le concept d'information transmise dans son espace est intimement lié à la question de la perception notamment celle du vivant et de l'humain. C'est bien une conception inventée par notre espèce afin de mieux comprendre notre environnement perceptible. La perception est la captation du signal contenant l'information, elle renvoie à la représentation, c'est à dire l'image, la prise de conscience que l'on a d'une chose, d'un événement, voire à l'idée que l'on s'en fait.

Concernant toute espèce, animale ou humaine, la première utilité de la perception est de définir les meilleures conditions de survie. Des ajustements plus ou moins importants en fonction des changements de l'environnement peuvent se produire entre l'organisme et celui-ci. L'animal doit prendre "connaissance" de son environnement pour y évoluer. "Connaissance" est à prendre au sens faible du terme, elle ne s'accompagne pas nécessairement de prise de conscience. Pour diriger son évolution dans son environnement, l'animal doit détecter, capter, saisir des informations, c'est à dire les détails de l'environnement pertinents par rapport à ses buts et ses intentions dans un besoin de survie<sup>6</sup>.

Au delà de ce besoin d'adaptation dans un environnement, la perception pour un être vivant est à la base de toute interaction sociale avec ses semblables. Appelée perception sociale, elle désigne l'ensemble des processus par lesquels nous nous donnons une connaissance de nous-mêmes et prenons une connaissance des autres. Pour les espèces sociales, ce sont des informations susceptibles de rendre compte des caractéristiques des autres et de leur comportement, d'intervenir sur nos opérations de perception ainsi que les conséquences de nos connaissances sur nos interactions sociales.

La perception est une fonction du corps au même titre que la respiration ou la digestion. Elle permet de connaître notre environnement par la détection d'informations utiles à notre évolution dans celui-ci.

### b. La sémiotique, étude du signifiant

Lorsque le message contenant l'information est transmis, est-il l'émission de l'information transmise elle-même ou le signifié de cette émission ? Si je crie "tout de suite !" à un ami anglais, il ne comprendra pas le message "tout de suite !" s'il ne parle pas français, il n'en saisira pas la signification alors que s'il possède un minimum de compréhension de la langue, il saura que le message que j'émet renvoie vers le "tout de suite !" de sa langue. Cela montre qu'une communication où le destinataire doit comprendre le message requiert une étape supplémentaire rendant le

système de communication linéaire présenté au chapitre précédent incomplet dans ce genre de situation.

La sémiotique peut définir cette étape manquante : considérée comme la discipline qui étudie les signes, ou plutôt comment ils s'organisent ensemble au regard de l'interaction sociale, elle permet de se demander s'ils permettent à l'individu de percevoir et interagir avec son environnement et de vivre dans la société. Nous semblons en tant qu'espèce être motivés par un désir de donner du sens : avant tout, nous sommes signifiants. De manière distincte, nous donnons du sens à travers notre création et notre interprétation de "signes". Charles Sanders Peirce, philosophe américain, fait partie des personnes ayant constitué un modèle dominant de ce qui constitue un signe. Selon lui "nous ne pensons qu'en signes"<sup>7</sup> : ils prennent la forme de mots, d'images, de sons, d'odeurs, de saveurs, d'actions ou d'objet, mais ces choses n'ont pas de sens intrinsèque et ne deviennent des signes que lorsque nous les investissons de sens. "Rien n'est un signe à moins qu'il ne soit interprété comme un signe", déclare Peirce.

Umberto Eco, dans son livre *Le signe* où il analyse la sémiotique développée entre autres par Peirce en donne un parfait exemple : M. Sigma, un citoyen Italien en voyage à Paris se met à ressentir un "mal de ventre", terme général car M. Sigma n'éprouve encore qu'une sensation confuse. Confronté à ce problème, il est immédiatement forcé à rentrer dans un réseau de système de signes comme, en premier lieu, essayer de définir son malaise, prendre rendez-vous avec le médecin de la ville en consultant l'annuaire local et repérer les signes graphiques précis qui lui indiquent qui est médecin et comment le contacter. Jusqu'au processus d'appeler le médecin via une cabine téléphonique, appeler ensuite un taxi et prononcer sa volonté de se rendre à une localisation précise, reconnaître l'immeuble du rendez-vous, l'appartement du médecin et quand il l'a enfin devant lui, tenter de lui expliquer son mal de ventre. S'ensuit un échange de signes pour que le médecin puisse comprendre et prononcer un diagnostic précis de sa maladie, etc<sup>8</sup>. Durant le périple de M. Sigma, il est évident qu'il doit puiser dans ses expériences personnelles pour effectuer des opérations précises ou comprendre les messages qu'on lui envoie.

On reconnaît donc un signe non pas parce qu'il est, mais parce qu'il nous renvoie à une convention, une définition que l'on a appris nous permettant de lui donner forme. Et de ce fait, il faut que l'émetteur et le récepteur dans un système de communication aient un code commun ; un code, c'est à dire une série de règles qui permettent d'attribuer une signification au signe<sup>9</sup>.

La "perception écologique" développée par James J. Gibson<sup>10</sup> se base également sur ce code pour définir la perception visuelle : Il refuse l'idée selon laquelle elle n'est basée que sur les informations sensorielles. Elle doit également se baser sur des informations écologiques puisant en dehors de notre relation physique à un espace, elle doit venir de nos sources environnementales d'où son terme de "perception écologique", où plutôt "validité écologique" comme aime l'appeler Corsin Vogel, artiste sonore s'intéressant aux questions de sens de l'espace dans la création sonore in situ. Il explique, dans son article *Un art sonore situé* : le sens de l'espace, à quel point la signification des sons, la matérialisation d'un corps sonore et la spatialisation du son sont importants pour créer des pièces sonores qui projettent l'auditeur dans de nouveaux espaces perceptifs<sup>11</sup>. Il définit la reconnaissance et la localisation des sons qui sont deux fonctions premières de la perception : identifier la source, c'est à dire lui donner du sens, et la positionner dans l'espace, elles sont essentielles à la survie. De nos jours ce sont par exemple les véhicules motorisés qui représentent un danger pour le piéton ou le cycliste, d'où le besoin de signaux d'urgence facilement localisables et reconnaissables. Il considère donc l'auditeur comme l'élément principal de ses oeuvres car sa par-

ticipation par l'écoute est un élément fondamental dans l'expérience de pièces sonores immersives. Il laisse place à la libre appropriation et interprétation de chaque visiteur en reconstituant des formes sonores qui leur évoque une signification et/ou réactive leur représentation en mémoire permettant d'obtenir cette "validité écologique". Cette même notion de la perception définit comment nous utilisons les codes pour comprendre et émettre des signes du point de vue de la sémiotique. Ces mêmes codes sont ancrés dans notre référentiel écologique nous permettant d'interagir avec notre environnement perceptible.

La perception peut être le produit, le résultat de la détection de l'information contenue dans les signaux grâce aux systèmes perceptifs lorsqu'elle est comprise dans le sens de "représentation".

### c. Processus "stimulus-réponse"

Le processus sémiotique n'est nécessaire que dans un système communicatif où la compréhension du message que le signal transporte est nécessaire : un processus de communication dans lequel il n'existe pas de code, et dans lequel il n'existe donc pas de signification se réduit à un processus de "stimulus-réponse". Le stimulus est une cause "naturelle" qui provoque une émission d'un signal sans pour autant qu'il soit intentionnel, la réponse du destinataire est de l'ordre d'un réflexe "physique naturel". Une lumière aveuglante m'obligeant à fermer vivement les yeux est très différente d'un commandement qui me demande de les fermer. Dans le premier cas je ferme les yeux sans réfléchir ; dans le second, je suis d'abord obligé de comprendre l'ordre, et donc de décoder le message via le processus sémiotique, pour décider de mon obéissance ou non. Dans ce cas, le processus linéaire de communication s'applique. Les processus de transmission physique "naturels" rentrent dans cette interaction de "stimulus-réponse" partant du vent, à travers les vagues sur le rivage. Umberto Eco parle d'ailleurs ici d'une "sémiotique du monde naturel" en insistant sur le fait que tout événements d'ordre physique - événements météorologique, la façon de marcher, etc. - sont des phénomènes de signification à travers lesquels nous interprétons l'univers, grâce à des expériences antérieures qui nous ont appris à lire ces événements comme autant d'éléments révélateurs<sup>12</sup>.

### d. Les dispositifs de télécommunication

J'ai défini plus tôt les médiums comme étant un moyen de transmission, un espace de transition permettant de véhiculer l'information d'un émetteur à un récepteur.

Comme il a été dit, le télégraphe, la radio, la télévision ou le téléphone sont des médiums : ils transfèrent l'information à travers des dispositifs visuels, sonores, électromagnétiques, etc. Ces moyens de communication sont définis comme des systèmes de télécommunication, des procédés de transmission d'information à distance. Ils sont omniprésents dans notre quotidien et définissent en majeure partie le fonctionnement de notre société depuis l'arrivée de l'électricité.

On peut inclure les systèmes de télécommunication dans ce schéma de compréhension de l'information reçue défini par la sémiotique, à l'exception que le récepteur doit posséder le même exact code que l'émetteur sinon le message ne sera pas compris. La radio effectue un encodage très précis du message sonore en signal électromagnétique qui doit être décodé aussi précisément. C'est à la base de tous systèmes de télécommunication moderne incluant l'analyse de l'information dans le but de la comprendre et de la transmettre.

Les systèmes d'analyse sont similaires aux télécommunications car ils utilisent les mêmes techniques de captation à la différence que leur fonction est de communiquer une interprétation du signal reçu dans le but de l'analyser. Il est d'ailleurs possible que des systèmes d'analyse s'incluent dans des systèmes de télécommunication, idem un bon exemple serait internet et son flux des données analysées et réanalysées, transmises et retransmises. La visualisation graphique des données est sûrement la plus utilisée par ces systèmes dans plusieurs domaines. La sonnification en fait également partie : c'est l'utilisation de signaux audio autre que vocaux pour transformer des données en son pour une contrepartie acoustique de la visualisation graphique de l'information. Le compteur Geiger est un exemple, l'information du rayonnement ionisant y est contenue dans la durée des silences entre les clics<sup>13</sup>. Comme les télécommunications, les systèmes d'analyse sont fondamentaux pour le fonctionnement d'une société moderne comme la nôtre. Ils vont interpréter et tirer des informations utiles à partir des signaux qui nous entourent pour améliorer notre compréhension du monde.

La différence entre la perception que nous avons des signaux par rapport à celle des systèmes de télécommunication et d'analyse est qu'ils ont leur code bien prédéfini qui ne changera pas, alors qu'en tant qu'être vivant, nous évoluons constamment avec notre environnement pour mieux le comprendre en absorbant ses signaux dans notre référentiel. Autre grande différence : nous pouvons donner au message perçu une autre forme, comme une métaphore, rendant le contexte important pour la compréhension du message perçu.

R. Murray Schafer, en vue de décrire l'arrivée au XXe siècle de ces nouveaux moyens de communication du son, parle de schizophonie : schizo le préfixe grec de "fendre", "séparer" et "phônê" le mot grec de "voix". "La séparation d'un son original de sa transmission ou de sa reproduction électroacoustique"<sup>14</sup>, applicable à toute autre information transmise à l'aide d'un système de télécommunication. Le désir de cette séparation du message à sa source est une réaction normale à l'expansion de nos sociétés voulant créer des espaces de communication de plus en plus vastes, des espaces virtuels où une multitude de flux d'informations s'y trouveraient, des réseaux qui nous permettent de communiquer depuis n'importe quel lieu.

Ces systèmes servent à la fois à transmettre quasi instantanément l'information avec une certaine exactitude sur des distances que nos moyens de communication classique/biologique/naturels ne pourraient pas atteindre et à la fois à appréhender des signaux que notre espèce ne pourrait pas percevoir.

## 2) Les signaux, ondes de notre environnement

### a. fondamentaux

A de nombreuses reprises, les signaux ont été cités pour décrire divers systèmes de communication comme le télégraphe, le phonographe, le téléphone, nos moyens de perception humains, etc. Ils sont un flux, une énergie, une onde émise contenant l'information se propageant dans son milieu. Il est important de comprendre que dans ce même monde, ils en donnent un sens : la Terre tremble jusqu'à ses fondations, les mers et les océans s'agitent sans cesse, les sons se propagent à travers la terre, les mers et l'air, notre corps est traversé d'ondes, l'univers est rempli d'un vaste spectre de radiations électromagnétiques, dont la lumière visible n'est qu'une infime partie. "On pourrait dire, en fait qu'il n'y a rien dans l'univers en dehors des ondes et de la matière - et on pourrait dire que la matière est également constituée d'ondes"<sup>15</sup>. Partant de cette affirmation, il devient essentiel de lister les ondes qui parcourent notre environnement et d'en définir les fondamentaux.

Partons de la définition : "Une onde est la propagation d'une perturbation produisant sur son passage une variation réversible des propriétés physiques locales du milieu"<sup>16</sup>.

Ensuite, pour expérimenter une représentation intuitive des signaux, il suffit de vous rapprocher de la mer, au bord d'une falaise, où vous pouvez observer un semblant de régularité des vagues. Leur succession régulière s'écoule rapidement vers le rivage, c'est du moins ce qu'il semble : si vous observez une balle de tennis flottant dans l'eau, vous constaterez que son mouvement principal est vertical, montant et descendant au passage de chaque vague. Il est donc clair que l'eau dans laquelle elle flotte ne suit pas le mouvement des vagues. Une observation plus attentive révèle que la balle se déplace latéralement ainsi que de haut en bas : vers le haut et l'avant lorsque la vague monte, vers le bas et l'arrière lorsqu'elle descend. Ce mouvement circulaire est celui des molécules d'eau elles-mêmes. Chaque particule effectue un mouvement répétitif et les particules voisines effectuent le même mouvement, mais avec un léger décalage créant cette illusion de mouvement des vagues. Les vagues agissent comme un signal qui varie dans le temps et l'espace en fonction de l'information qu'elles transmettent à partir d'éléments comme le vent qui permet cette poussée des eaux.

Cela permet de comprendre qu'un signal physique va modifier le comportement des particules d'un point A à un point B de l'espace qui lui correspond en fonction de l'information qu'il transmet. Le passage de l'onde provoque cette perturbation qui fait osciller les molécules d'eau, ce qui veut dire que physiquement parlant, une onde est une zone de l'espace dans laquelle les propriétés sont modifiées. On affecte alors à chaque point de l'espace des grandeurs physiques.

De manière générale une onde se définit par trois valeurs : la fréquence, l'amplitude, et la phase. La fréquence (en hertz) est le nombre de pics d'ondes qui passent devant un point en une seconde. L'amplitude est la distance entre la position moyenne et le sommet ou le creux d'une onde, elle définit son intensité. La phase définit la hauteur d'une onde en un point. Cette troisième valeur est la plus timide, deux ondes de même intensité et fréquence sont perçues pareillement, même si elles possèdent une phase opposée. Par contre si nous comparons ces deux mêmes ondes dont les pics et les creux coïncident, un déphasage se produit ayant des conséquences sur leur perception.

## b. Les ondes mécaniques

Les ondes mécanique sont une propagation d'une perturbation dans un milieu matériel : lors de son émission, il y a un transport d'énergie sans transport de matière. Les vagues qui se propagent dans l'eau sont des ondes mécaniques, mais aussi le son ou les ondes sismiques qui peuvent se transmettre dans les fluides et les solides.

On peut facilement créer ce type d'ondes dans une corde tendue de quelques mètres de long : si vous attachez une extrémité à un poteau et secouez rapidement l'autre extrémité de haut en bas une seule fois, vous pouvez créer une impulsion qui se déplacera le long de la corde jusqu'au poteau. Il est d'ailleurs possible, si vous secouez cette fois assez vite la corde de façon répétitive, d'avoir le centre de la corde qui bouge beaucoup tandis que les deux extrémités ont tendance à peu bouger. En augmentant la vitesse à laquelle vous secouez la corde vous devriez être capable de créer un modèle différent dans lequel le centre de la corde bouge à peine mais les deux points situés au quart et au trois quarts de la corde bougent beaucoup augmentant la fréquence d'onde. C'est l'énergie qui se déplace dans la corde qui en donne sa forme. Le fait que vous ayez dû travailler davantage pour une fréquence plus élevée sur votre corde est fondamental pour la nature des ondes de toutes sortes : des fréquences plus élevées signifient des énergies plus élevées.

Ce principe de la corde tendue est un classique des ondes mécanique, on peut la retrouver principalement dans les instruments à cordes qui utilisent des cordes vibrantes tendues aux deux extrémités dont les vibrations se réfléchissent. Elles peuvent émettre des sons si elles oscillent vers des fréquences élevées, de la même manière que deux personnes éloignées qui tendent un fil de pêche entre deux boîtes de conserves peuvent communiquer en transmettant la vibration de la voix à travers le fil qui les sépare.

Le comportement reste le même, c'est une oscillation de la matière qui transmet l'onde. Tout comme la corde qui se déplace de haut en bas, la pression de l'air change pour transmettre le son ou un glissement de plaques tectoniques à 700 kilomètres en dessous de la surface qui envoie un train d'ondes sismiques qui rayonne dans toutes les directions à travers la Terre. Les paramètres qui pourraient différencier toutes ces différentes ondes mécaniques seraient leur intensité, leur fréquence et la matière qu'elles traversent. Mais fondamentalement, l'énergie qui passe dans la corde est la même que celle qui traverse l'air, l'eau ou la terre.

## c. Les ondes électromagnétiques

Il existe une différence fondamentale entre les ondes mécaniques comme le son, les ondes océaniques et sismiques, et les ondes électromagnétiques, qui comprennent la lumière et les ondes radio. Elles n'ont besoin d'aucun milieu pour se déplacer et, dans le vide, elles avancent toutes à une vitesse précise, à 299 792 458 mètres par secondes. Elles traversent soit des milieux opaques à certaines fréquences et soit transparents partiellement ou entièrement à d'autres.

L'observation de ces ondes a été noté pour la première fois par le penseur Thalès, il y a plus de 5000 ans : il a observé qu'en frottant un morceau d'ambre avec de la fourrure naturelle, l'ambre attirera de petits fragments de bois et de papier. Cette expérience est expliquée par une fraction d'électrons chargés négativement de l'ambre retirés pour être retenus par la fourrure, la laissant chargée positivement : elle peut alors attirer des objets<sup>17</sup>. Le volume d'espace entourant l'ambre

sur lequel s'étend cette influence est appelé champ électrique, un champ vectoriel créé par des particules électriquement chargées. Cette influence s'étend également au delà de la surface de l'ambre, certaines pierre étudiées par Thalès possèdent ces propriétés magnétiques, elles ont aussi un champ : le champ magnétique qui se traduit par l'existence d'une force agissant sur les charges électriques.

Il a été montré que ces deux champs sont en fait étroitement liés : imaginons un fil parcouru par un courant électrique alternatif qui change de sens à intervalles réguliers, le champ électrique associé change aussi de direction générant un champ magnétique, ce même champ magnétique va générer un autre champ électrique bref et changeant, vers un nouveau champ magnétique bref et changeant, et ainsi de suite, indéfiniment. Ensemble ces changements entre ces deux champs constituent une onde électromagnétique.

La nature d'une onde électromagnétique se définit principalement par sa fréquence d'onde dont la lumière visible se trouve entre 384 THz et 789 THz. Dans des fréquences plus faibles nous trouvons les infrarouges, les micro-ondes et les ondes radios et dans les plus élevées, les ultraviolets, les rayons X et les rayons gamma. Ils constituent ensemble le spectre électromagnétique. La tranche occupée par la lumière est de loin la plus étroite. Si ces sept types de rayonnement nous semblent très différents, c'est uniquement parce que nous les détectons et les utilisons de manière différente. En réalité, ils ne diffèrent que par leur fréquence d'onde.

Au delà de la perception de la lumière, l'autre utilisation principale que nous avons de ces ondes, vous vous en seriez douté, elle a déjà été citée plusieurs fois, ce sont les ondes radios. Elles sont générées par des mouvements de charges électriques ou d'aimants et se trouvent entre 3 Hz et 300 MHz. Elles définissent les télécommunications aujourd'hui, la radio, nos téléphones, la télévision en reçoivent et/ou en émettent. Le principe de base d'une antenne radio provient du même système décrit avec un courant électrique alternatif, cette fois il passe par une paire d'électrodes dont les charge oscille entre le positif et négatif plusieurs fois par secondes et ce taux d'oscillations est la fréquence des ondes radio. Elle produit des champs électriques et magnétiques variables : cela signifie qu'un champ électrique oscillant émis à partir de l'antenne va générer son propre champ magnétique. C'est une paire de champs ondulatoires auto-perpétués qui se propagent dans toutes les directions à la vitesse de la lumière : on l'appelle un rayonnement électromagnétique.

Pour envoyer des ondes radios, les télécommunications utilisent deux techniques. La première est la AM pour modulation d'amplitude : l'information est sous la forme d'une onde radioélectrique variant rapidement ajoutée à une onde plus courte appelée porteuse qui est l'équivalent électromagnétique, une onde sinusoïdale à fréquence fixe. L'autre méthode est la FM pour modulation de fréquence : les ondes porteuses et les ondes de signal sont fusionnées pour produire une onde dont la fréquence varie mais l'amplitude reste constante. La FM a été conçue pour contourner les problèmes d'interférences que la AM subissait dus aux signaux radios qui s'échappaient des appareils ménagers, des lignes électriques ou des lampadaires, au seul inconvénient que la fréquence plus élevée de la FM ne lui permet pas de contourner les bâtiments au même titre que la lumière<sup>18</sup>.

Les autres ondes dans le spectre électromagnétique moins connues ont tout de même un rôle important dans notre monde et notre quotidien.

Les micro-ondes sont aussi largement utilisées dans les télécommunications avec leur fréquences

plus élevées que les ondes radios qui permet de transporter une plus grande quantité d'information mais aussi très efficaces pour réchauffer des aliments pouvant emmagasiner une grande quantité d'énergie.

L'infrarouge, dit en dessous du rouge, est associé à la chaleur car les objets comme nos corps émettent un rayonnement thermique dans le domaine des infrarouges.

Les ultraviolets (UV), dits au-dessus du violet, sont des rayons qui possèdent des propriétés suffisamment énergétiques pour briser certaines liaisons qui unissent les atomes les uns aux autres. Ils peuvent provoquer, désintégrer des organismes, et sont utiles pour la désinfection. Le Soleil, d'ailleurs, rayonne environ 1% de son énergie sous forme d'ultraviolets, suffisant pour désintégrer toute vie sur Terre si sa couche d'ozone venait à disparaître, qui absorbe à 98% des UV de notre étoile.

Les rayons X, beaucoup plus rares, peuvent traverser la matière en étant partiellement absorbés en fonction de la densité de celle-ci et de l'énergie du rayonnement, ce qui permet d'avoir une information sur l'intérieur des objets qu'ils traversent. Nous avons tous en tête les radiographies médicales montrant le squelette du corps étudié. Elle possède aussi son utilité dans la surveillance aux frontières et dans les aéroports. Il est quand même essentiel de surveiller la quantité de rayons X infligé sur le corps, son énergie est suffisante pour provoquer une brûlure des tissus et des dommages aux cellules, ce qui peut entraîner des cancers.

Puis nous avons les rayons Gamma à des fréquences encore plus hautes. Très rares sur Terre et dans la plupart des autres parties de l'univers. En majorité, ils proviennent des atomes dont le noyau est instable pouvant libérer de l'énergie à l'origine du fonctionnement des centrales nucléaires et de certaines armes nucléaires. Ceux observés provenant du ciel ont longtemps été un mystère pour l'astronomie, mais on pense aujourd'hui qu'ils proviennent d'explosions ou de collisions d'étoiles dans des galaxies bien lointaines. Certaines de ces rafales explosives ont une énergie telle qu'un événement trop proche, qui traverserait notre planète, pourrait sonner le glas de toute une vie. Heureusement pour nous, ces événements sont très rares et n'ont jamais été observés dans notre galaxie.

#### **d. Les ondes biologique**

Les ondes jouent également un rôle important dans le fonctionnement du vivant par la simple action de pouvoir déplacer son corps vers l'organisation complexe de notre activité cérébrale. Elles agissent à la fois au niveau des réactions chimiques de nos organismes, et au niveau des populations.

Il suffit d'observer le mouvement des vers de terre pouvant facilement changer de forme, se contractant, ils amincissent et allongent leur corps dans un cycle répétitif. Les serpents ondulent latéralement à l'aide de leur colonne vertébrale tout comme les centipèdes. Les mille-pattes se déplacent vers l'avant au moyen d'ondes qui traversent leur corps soulevant leurs pattes tour à tour, et les poussant vers le bas. Nous mêmes, bien que moins bien pourvus en jambes et ayant opté pour un système de locomotion avec une posture plus droite, nous nous basons sur un rythme de marche confortable qui varie généralement très peu. Nos jambes sont un peu comme des pendules qui ont des fréquences de résonance bien définies.

Le cœur, l'organe le plus rythmique du corps contient un oscillateur naturel appelé "pacemaker" ou nœud sinusal. Un faisceau de nerfs sur la paroi externe produit une charge électrique environ soixante à cent fois par minutes. Ces impulsions sont transmises à l'organe interne du cœur, le nœud auriculo-ventriculaire relié aux muscles cardiaques qui se contractent. Il est bien sûr important que le cœur batte sans volonté consciente mais aussi qu'il réponde aux variantes de la demande, comme dans les moments de stress ou d'effort.

Puis il y a le cerveau, probablement l'organe le plus connu usant des ondes. Son activité se résume principalement par des ondes électriques de deux types : alpha de 8 à 12 Hz et bêta de 13 à 25 Hz. Les ondes alpha sont essentiellement présentes quand nous avons les yeux fermés. Alvin Lucier usa des ondes alpha pour sa pièce musicale *Music for Solo Performer* en 1965. Il détecta leur potentiel rythmique pour les utiliser dans un dispositif à percussions : les ondes cérébrales, constamment captées par des électrodes et amplifiées par un amplificateurs sont passées dans un filtre ne laissant passer que les ondes alpha pour être ensuite divisé en plusieurs canaux, chacun amplifiés et acheminés vers un haut-parleur. Les cônes des enceintes suivent alors le rythme alpha et font sonner les instruments à percussion, soit en les frappant directement, soit par le mouvement de l'air qui les sépare.

Les ondes alpha ont une activité plus tranquille que les ondes bêta qui augmentent lorsque nous sommes en mouvement ou même si nous voyons une personne bouger. Il y a également les ondes delta, à des fréquences les plus basses autour de 1 à 4 Hz se manifestant seulement pendant le sommeil profond et jouant un rôle sur la formation de la mémoire. Les ondes thêta de 4 à 8 Hz aussi présentes lorsque l'esprit travaille dur à des activités comme se rappeler de souvenirs complexes ou se concentrer sur l'apprentissage. Puis tout ce qui est au-dessus de 25 Hz s'appelle les ondes gamma. Elles suscitent encore un questionnement quand à leur utilité, mais il est possible qu'elles peuvent offrir la "liaison" qui nous permet d'associer des couleurs avec des objets au lieu de simplement enregistrer des concepts disparates.

Le cerveau est capable de fonctionner grâce à ses milliards de neurones. Ces neurones possèdent deux états - excité ou non - ils peuvent transmettre à d'autres neurones. Ils dépendent des synapses, des passerelles qui doivent être "ouvertes" pour permettre l'activité d'un neurone pour déclencher un autre. Un seul neurone peut en signaler jusqu'à dix mille autres, rendant une activité synaptique potentielle dans un seul cerveau humain de plus de cent trillions d'interactions, soit plus d'étoiles que dans notre galaxie. Le cerveau fonctionne donc parce que les neurones travaillent et se synchronisent ensemble, une activité cérébrale globalement similaire chez tous les vertébrés mise à part quelques exceptions<sup>19</sup>.

Les ondes cérébrales nous permettent de comprendre les signaux que notre corps et notre environnement nous envoient et d'y répondre de manière aussi complexe que nous les recevons. Il est sûr que l'activité cérébrale est à la base de tous les systèmes sémiotiques des êtres vivants : elle peut définir les codes pour donner une signification aux informations que nous recevons.

## e. L'électricité et le traitement des signaux

Les signaux électriques ont été cités à plusieurs reprises. Ils permettent la synthèse de signaux, leur transport, leur enregistrement, leur analyse. Grâce à eux, il est possible de leur impo-

ser des modifications. Avec les systèmes électriques, une grande variété de traitements de signaux peuvent être performés.

Le traitement de signal est un processus qui opère sur un signal en entrée pour produire un autre signal en sortie. Imaginons un microphone, transducteur de l'information sonore de la voix qui convertit la pression de l'air en intensité électrique alors qu'ils varient tous les deux dans le temps. Chacune de ces deux manifestations de l'information sonore sont des signaux, l'un d'eux sous la forme d'un signal d'une intensité électrique qui varie dans le temps. L'information sonore peut être transportée à travers des conducteurs électriques, elle peut subir une amplification ou d'autres transformations puis elle peut être convertie à nouveau comme une plus forte onde acoustique, voire modifiée, à l'aide d'un haut-parleur, qui est un autre transducteur<sup>20</sup>.

Ce traitement de signal généré à la base des appareils électroniques peut s'effectuer sur un signal classifié comme un *time-continuous signal*, un signal analogique défini comme toutes les valeurs d'une variable temporelle. Une intensité électrique qui passe dans le système cité ci-dessus pouvant convertir tout autre signal mécanique ou électromagnétique en signal électrique à travers des transducteurs. Cette interaction avec des systèmes électriques autorise déjà beaucoup d'applications complexes d'analyse et de traitements. On peut imaginer le musicien qui fait passer la vibration des cordes métalliques de sa guitare électrique à travers de nombreuses pédales d'effets analogiques qui vont modifier son signal pour l'émettre sur des haut-parleurs avec un système d'amplification électrique.

Il existe une autre forme pour interpréter les signaux analogiques : la forme digitale d'un signal classifiée comme *time-discrete*. Elle se définit seulement à des instants discrets du temps, c'est à dire qu'une valeur sera prise dans un intervalle défini de ces instants pouvant être n'importe quel intervalle de temps, de l'ordre de la milliseconde ou même de l'année, dépendant du signal voulant être traité. C'est une forme obtenue en convertissant le signal analogique, alors qu'il varie dans le temps, en une séquence de nombre à l'aide d'un appareil électronique appelé *Analog to Digital Converter* pour ADC. La séquence de nombres représente le signal par périodes. Elle peut, avec cette forme digitalisée, être introduite dans un ordinateur capable de performer une analyse ou un traitement encore plus poussés sur un signal, pouvant ensuite être reconvertie en signal analogique avec un *Digital to Analog Converter* pour DAC. Cela consiste à échantillonner un signal continu, analogique et de convertir ses valeurs en un format numérique interprétable. Des méthodes ont été développées pour analyser des signaux analogique en temps réel. Pour cela il est important pour ces systèmes de définir une fréquence d'échantillonnage, c'est à dire à quelle fréquence un signal analogique doit être échantillonné.

Cette méthode d'analyse des signaux analogique pour les interpréter numériquement peut donc être utilisée par les ordinateurs pour effectuer des tâches que les systèmes analogiques ne peuvent pas procéder. On l'appelle le traitement des signaux par ordinateur également nommée DSP pour *Digital Signal Processing*. Il englobe les mathématiques, les algorithmes et les techniques utilisées pour manipuler ces signaux continus après qu'ils aient été convertis en une forme digitale voire même d'en créer de nouveaux. Il a permis des changements révolutionnaires déjà apportés dans un large champ d'applications : les communications, l'imagerie médicale, les radars et sonars, ou la reproduction musicale de haute fidélité pour n'en citer que quelques-uns. "Supposons que nous attachons un *Analog to Digital Converter* à un ordinateur et nous l'utilisons pour acquérir un morceau de données du monde réel. Le DSP répond à la question : que faire ensuite ?"<sup>21</sup>.

"Les nombres traités par un ordinateur peuvent-ils être convertis en sons que l'oreille peut entendre ?". Une question posée par l'ingénieur et informaticien Max Matthews en 1963 dans un article nommé *The Digital Computer as a Musical Instrument*. La réponse est immédiate et affirmative. L'amélioration des conversions digital-to-analog et analog-to-digital est devenue essentielle dans la compréhension de notre environnement et la création de signaux parfois nouveaux, impossibles à repérer dans la nature. Par conséquent, le développement d'analyses et de synthèses de signaux par ordinateur requiert des compétences à l'intersection du DSP et de l'informatique.

D'un point de vue très sûrement partagé par les utilisateurs du DSP dans différents domaines, l'application qui a drastiquement changé l'ère du traitement des signaux est la capacité pour un ordinateur qui reçoit un signal de pouvoir en analyser précisément ses fréquences. C'est une forme qui permet de déterminer d'un signal plus ou moins complexe ses fréquences d'oscillations, leur amplitudes et leur phase, leur superposition reconstruisant le signal originel. L'équation mathématique pour un signal plus ou moins complexe permettant cette analyse s'appelle the Discrete Fourier Transform pour DFT. Cette équation trouve son origine d'un article présenté par Joseph Fourier en 1807 à l'Institut de France sur l'usage de sinusoides pour représenter les distributions de température dans un solide. Il revendiquait qu'un signal périodique continu, c'est à dire un signal qui se répète dans un paterne régulier, peut être représenté comme la somme pondérée d'ondes sinusoidales correctement choisies<sup>22</sup>, leur superposition restituant le signal originel. Il a souligné que sa méthode pour résoudre l'équation de la température sur une barre métallique pouvait s'appliquer pour résoudre l'équation d'une corde qui vibre, nous laissant penser qu'il imaginait déjà la possibilité à son époque de pouvoir analyser les oscillations des ondes. L'équation de Fourier permet de décomposer un signal complexe et met en valeur ses propriétés fréquentiels dans une conversion du domaine temporel au fréquentiel. Elle est appelée discrète car elle est justement applicable sur des signaux numérisés, une application limitée jusqu'à l'arrivée des ordinateurs plus d'un siècle plus tard pouvant traiter de plus en plus de données de plus en plus rapidement, presque en temps réel.

On la retrouve également dans la compression de données pour éliminer certaines composantes spectrales moins significatives permettant de réduire la quantité de données nécessaire pour émettre un signal ou obtenir un minimum de stockage des fichiers numériques. C'est un outil puissant en DSP, elle permet de mieux comprendre la structure spectrale des signaux et d'effectuer des manipulations efficaces sur eux. Dans un signal, on peut déterminer les fréquences dominantes, les harmoniques et d'autres caractéristiques spectrales qui contribuent à l'onde. Un autre usage important est le filtrage fréquentiel, on peut appliquer des filtres pour supprimer ou atténuer certaines fréquences indésirables. En production musicale, certains effets audios reposent sur une sorte d'analyse et de resynthèse spectro-temporelle après une manipulation dans le domaine fréquentiel du signal audio. L'exemple le plus connu de cette procédure est le vocodeur de phase, au coeur de l'algorithme "Auto-tune", il permet l'ajustement de pitch sur un signal. On peut dire que la Transformée de Fourier a fortement révolutionné la musique par ordinateur car la capacité de stockage digitalisée a permis de démocratiser cette équation dans le but de créer de nouveaux modèles de perception auditifs. Grâce à elle, il nous est possible de générer des sons qui n'ont jamais été entendus avant, servant comme une interface pour la création musicale contemporaine<sup>23</sup>.

La DFT est une première approche pour analyser les propriétés fréquentielles complexes d'une onde. Or le domaine fréquentiel possède tout de même ses limitations, ignorant le plan temporel, il ne permet pas de se rapprocher de l'expérience humaine des ondes. Il a été dit qu'elle permet de

représenter tout signal dans le domaine fréquentiel comme la somme pondérée d'ondes sinusoïdales, "cependant, avec cette approche globale, chaque phénomène local est, de fait, considéré comme une agglomération d'ondes éternelles et invariables d'une cohérence infinie, et les informations temporelles sont d'autant moins précises que la couverture fréquentielle augmente" expriment Florian Hecker et Robin Mackay dans le livre *Spectre III, Fantôme dans la machine*<sup>24</sup>. Leur raisonnement est issu de l'incertitude d'Heisenberg entre les domaines temporels et fréquentiels expliquant que l'information disparaît toujours dans un sens ou dans l'autre. Pas exemple, il y aura toujours une perte de résolution fréquentielle des données si l'on décide de réduire la fenêtre temporelle à analyser, et à l'inverse, si on augmente la résolution des données fréquentielle, on perd des détails dans le temps.

Les recherches neurophysiologiques laissent penser que nous analysons le son à partir de cascades récursives appliquées à de multiples échelles temporelles sur des motifs de temps-fréquence très précis<sup>25</sup>. Répliquer ce processus pourrait créer une analyse fidèle à la fois dans les fréquences et le temps, et justement, issue de la même logique que la transformée de Fourier, la transformation par diffusion temps-fréquence, ou wavelet transform pour transformation par ondelettes permet justement ce taux de fidélité. Elle a été développée par le chercheur en informatique Vincent Lostanlen qui réfute le plan fréquentiel au profit d'une compréhension plus complexe du paysage auditif et du traitement perceptif. Au lieu d'utiliser des ondes sinusoïdales pour décomposer le signal, l'utilisation d'ondelettes permet de transposer et de modifier à travers des échelles la fenêtre de décomposition du signal afin de recueillir des informations à chaque résolution. Elle capture à la fois le contenu fréquentiel et temporel permettant d'extraire un tracé des caractéristiques plus sensibles du signal.

### 3) Représentation morphologique des signaux

#### a. Notation prescriptive et descriptive

Dans le but d'introduire la notation dans la représentation des sons, Murray Schafer dit : "La notation correspond à une tentative de transcription visuelle des faits acoustiques. Le rôle de la notation, à la fois dans la conservation et l'analyse des sons, est donc considérable"<sup>26</sup>. Il présente trois systèmes de représentation graphique du son : celui de l'acoustique où ce sont les propriétés mécaniques qui sont transcrites, celui de la phonétique qui analyse et projette le langage et celui de la notation musicale permettant la transcription de certains sons à caractère "musical".

Cette dernière est, comme Schafer la décrit, une notation prescriptive, c'est-à-dire qu'elle joue le rôle de fournir les indications sur les sons à produire. C'est une notation "conventionnelle" largement reconnue qui introduit par la même occasion la notion de verticalité de la fréquence ou de la hauteur dans ses partitions se lisant de gauche à droite. Elle permet de représenter une dynamique musicale qui conserve des traces de son origine visuelle : dans les partitions, des lignes divergentes, par exemple, indiquent un crescendo ou une augmentation de l'intensité ; des lignes convergentes, au contraire, un diminuendo. "Le fait d'écrire sur le papier avait souvent fourni à la musique en Occident des données et des formes empruntées aux arts visuels et à l'architecture"<sup>27</sup> dit Schafer. La notation musicale, bien qu'elle soit restée une base enseignée dans les conservatoires ou autres écoles de musique, s'est vue être utilisée en dehors des conventions musicales classiques avec l'arrivée de la création par ordinateur et les logiciels DAW, abréviation pour Digital Audio Workstation. Entre autres pour améliorer la capacité d'enregistrer et d'éditer, ils introduisent la création de mélodies assignées à un instrument synthétisé ou échantillonné, utilisant les mêmes notions de verticalité des notes que les partitions papier. Ils permettent une plus grande flexibilité quant à leur manipulation d'intensité, de rythme et de hauteur grâce à une interaction quasiment en temps réel avec l'utilisateur et une quantification précise. La notation prescriptive n'est pas obligatoirement liée à la notation musicale "classique", certains artistes sonores se sont adonnés à la création de nouvelles manières de composer : Tristan Perich, par exemple, compose sa pièce *1-Bit Symphony* en assembleur, un langage de programmation qui discute directement avec l'ordinateur, il l'utilise pour convertir les données en son avec une puce électronique reliée à une simple sortie audio que l'on branche à un amplificateur<sup>28</sup>. Il y a aussi Zbigniew Karkowski qui, lui, exporte des images qu'il a créées numériquement en fichiers sonores dans sa pièce sonore *Hear*<sup>29</sup>. En dehors de la composition musicale, l'organisation d'une installation sonore de grande envergure dans une grande salle de spectacle par exemple implique de théoriser le son à l'avance dans cet espace en fonction de ses propriétés acoustiques.

A l'inverse, la phonétique et l'acoustique sont, quant à elles, des notations descriptives, elles transcrivent des sons déjà émis. Elles donnent des sons une description physique exacte dans l'espace nécessitant une technique où les paramètres de base peuvent se définir et se mesurer par rapport à des échelles quantitatives, ces paramètres étant en général la fréquence et l'intensité. Cette notation a pour but d'étudier le comportement des phénomènes sonores pouvant mener à une meilleure compréhension de ceux-ci.

Ces notations ne sont pas exclusives au son bien sûr, elles peuvent s'appliquer aux autres types de signaux. Par exemple, avec les avancées dans l'audiovisuel dont les DAW font partie, la notation prescriptive visuelle de show de lumière ou d'images projetées est largement répandue, qu'elle soit

programmée numériquement à l'avance pour que le dispositif se déploie automatiquement ou qu'elle organise les différents acteurs de façon synchronisée. La télécommunication de tous temps, avant de construire ses "lignes" de communication, crée des cartes. Maintenant avec la communication par ondes électromagnétiques on simule la propagation des ondes radio pour être certain de la direction, la portée et l'intensité de leur signal dans différentes zones géographiques.

Quant à l'étude descriptive, elle est aussi ancienne pour les ondes mécaniques se propageant à travers un milieu. Pythagore et Aristote avaient formulé des théories sur la nature du son et de sa propagation, idem pour les ondes électromagnétiques – surtout la lumière : Euclide et Platon avaient proposé des théories sur la nature de la vision<sup>30</sup>. Cependant, les premières représentations graphiques du comportement des ondes attendront le XVII<sup>ème</sup> siècle pour voir le jour. Newton en étant à la base avec ses graphiques pouvant indiquer la distance parcourue d'une particule ou d'un point d'une onde en fonction du temps ou représentant l'amplitude d'une onde en fonction de la distance parcourue. Il y a aussi ses diagrammes de dispersion utilisés pour visualiser comment les différentes fréquences se comportent dans un milieu donné. Nous avons tous en tête l'exemple des prismes de verre dispersant les rayonnements lumineux en plusieurs couleurs. Il en existe bien d'autres encore : diagramme de Lissajous pour mesurer les relations de phase entre deux ondes, diagramme de rayonnement représentant la distribution spatiale de l'intensité d'une onde dans différentes directions, etc.

Les mathématiques, que l'on retrouve presque systématiquement dans le domaine des ondes, est un langage et un système de notation qui peuvent être utilisés à la fois de manière descriptive et prescriptive. Ils permettent de décrire et d'expliquer des concepts, des relations et des phénomènes. Les équations, les formules et les notations symboliques sont utilisées pour représenter et communiquer des idées mathématiques de manière concise et précise. Elles permettent d'analyser, décrire et modéliser des phénomènes. Dans l'autre sens, elles peuvent être utilisées pour donner des indications précises et spécifiques sur la façon de résoudre des problèmes ou d'obtenir des résultats souhaités. Il existe par exemple des outils dans la programmation musicale permettant de formuler des équations afin de créer une forme d'onde précise à émettre, on peut les retrouver surtout dans divers outils sonores comme Pure Data ou Max Msp. Leur fonctionnement incite l'utilisateur à directement s'adonner à de la programmation pour la création sonore.

La notation prescriptive possède ses limitations, elle ne permet pas de représenter le comportement physique des phénomènes sonores déjà existants. De ce fait, elle ne peut pas refléter les signaux émis dans un environnement, c'est pourquoi la notation descriptive est tout aussi importante.

Ces notations de sources bien différentes se rejoignent tout de même sur la définition d'un comportement d'un signal, qu'il soit prescrit ou déjà existant. Ce sont deux modes de représentation individuellement utiles dans leur domaine respectif, mais ils peuvent également se combiner pour la recherche d'une technologie, d'une technique ou d'un processus de création. Le processus scientifique utilise conjointement ces deux formes : la notation descriptive est utilisée pour décrire et expliquer les observations. Elle permet de décrire les caractéristiques, les propriétés et les comportements des objets d'étude. Quant à la notation prescriptive, elle est utilisée pour fournir des indications précises sur la manière de réaliser des expériences, de mener des analyses ou de calculer des valeurs. Cette combinaison permet une communication des résultats et des méthodes de recherche.

Cette relation est liée à une certaine démarche artistique mêlant recherche expérimentale des formes et des intentions à exprimer. Pierre Schaeffer dans son livre *A la recherche d'une musique concrète* fait la distinction entre deux formes musicales pouvant être considérées dans leur foncière opposition mais aussi dans leur relation. La musique "conventionnelle" citée ultérieurement qu'il appelle "habituelle" est dite abstraite comme notation prescriptive et la musique "nouvelle" dite concrète comme notation descriptive. "La première est d'abord conçue par l'esprit, puis notée théoriquement, enfin réalisée dans une exécution instrumentale. La musique concrète, elle, est constituée à partir d'éléments préexistants, empruntés à n'importe quel matériau sonore, bruit ou son musical, puis composés expérimentalement par un montage direct, résultat d'approximations successives, aboutissant à réaliser la volonté de composition contenue dans des esquisses, sans le secours, devenu impossible, d'une notation musicale ordinaire"<sup>31</sup> écrit Schaeffer. L'une part de l'abstrait au concret et l'autre du concret à l'abstrait prouvant qu'un lien existe entre la composition et le matériau comme objet concret. Il considère que ces deux formes ne sont plus deux démarches égales et de signes contraires, mais insiste sur un cycle de création entre eux. "L'usage simultané des deux domaines et le fonctionnement normal du cycle apportent, éventuellement, à d'autres types de compositeurs l'aller et le retour systématique et répété du préconçu à l'expérimental", dit-il. Je reviens sur les outils de programmations Max Msp et Pure data car ils permettent ce cycle de création, Zbigniew Karkowsky, un fervent utilisateur de ces moyens de création sonore, en parle assez bien : "Quand je joue sur Max/msp je mets directement dans le son un résultat composé issu de tous ces facteurs complexes (l'instrument/logiciel compris). C'est un processus vivant, pas assis à une table avec du papier et un crayon où tout est contrôlé et le hasard quasiment inexistant. (...) Je préfère modeler directement la matière sonore pour vérifier tout de suite si ce que je fais sonne. En général, quand l'entame le processus, je ne sais pas ce que je vais faire, c'est un jeu, un espace"<sup>32</sup>.

## b. Imagerie du signal

La notation des signaux est donc une réaction logique pour un chercheur, un musicien ou tout autre personne recevant des données dans le temps voulant les stocker et les analyser. Il a été abordé les différentes manières de les noter, mais il en existe deux principales, retranscrivant l'information visuellement, qui font l'unanimité dans les différents domaines qui traitent des signaux. Elles ont déjà été citées à de nombreuses reprises, ce sont les représentations dans les domaines temporels et fréquentiels. L'une permettant une observation d'une variation d'amplitude quelconque au cours du temps et l'autre montrant, à un intervalle temporel donné, quelle proportion du signal appartient à telle ou telle bande de fréquence. Ces deux domaines possèdent leur représentation graphique conventionnelle adoptée par la plupart.

Il est possible que vous vouliez avoir une meilleure représentation des signaux que vous recevez. La manière la plus simple d'y procéder serait donc de la noter. Considérez la température de l'air dans votre maison. Un thermomètre produit une indication continue de cette valeur. Vous pouvez à n'importe quel moment obtenir une lecture de cette information et supposez que, au même moment tous les jours, vous la notez sur une feuille de papier, vous échantillonnez le signal. Dans ce cas, d'ailleurs, vous performez une Analog to Digital Conversion, car vous ne pouvez pas obtenir une valeur de la température pour chaque point dans le temps car vous devrez alors noter un nombre infini de nombres. Maintenant supposez que vous voulez dessiner graphiquement vos échantillons pour regarder les correspondances à ce point précis dans le temps. Vous avez sûrement ce que l'on appelle le *sampling rate*, la fréquence d'échantillonnage qui correspond à l'inter-

valle entre chaque prise de données. Dans votre cas, il est d'une journée. Vous pouvez alors dessiner un graphique dans lequel les points sont positionnés à intervalle de temps  $T$  réguliers en abscisse, à l'horizontal, et leur valeur d'intensité à la verticale, en ordonnée<sup>33</sup>.

Cette représentation est largement utilisée, dans la médecine par exemple elle est importante pour surveiller et repérer de potentielles maladies du cœur représentant dans le temps de ses battements à travers un électrocardiogramme sur oscilloscope. Ces mêmes oscilloscopes montrent une intensité électrique qu'ils reçoivent, et parce que nous pouvons convertir beaucoup de signaux en variation électrique, nous pouvons alors observer sur l'écran la forme d'onde du son, d'une onde sismique, d'une onde électromagnétique, et, en soi, toute forme de signal convertissable.

Cette analyse s'étant également exportée sur les ordinateurs sous leur forme digitalisée, il est donc possible d'y effectuer des opérations d'analyse plus complexes, comme la conversion dans le domaine fréquentiel : la Discrete Fourier Transform déjà citée permet ce passage. C'est à partir de ce processus qu'une démonstration graphique des fréquences d'un signal est possible. Il n'existe pas d'exemples simples pour comprendre cette opération, mais comme il a été dit, elle décompose le signal discret inscrit dans le domaine temporel pour en obtenir ses fréquences d'oscillation. Graphiquement, c'est l'axe horizontal qui change de l'unité de temps à l'unité fréquentielle, l'axe vertical garde son unité d'intensité. Cette analyse doit être effectuée dans un intervalle comportant suffisamment d'échantillons pour obtenir des données fréquentielles consultables. Par exemple pour analyser en temps réel une onde sonore pour observer ses fréquences jusqu'à la limite audible de l'oreille humaine, soit environ 20000 Hz, on doit avoir une fréquence d'échantillonnage du signal par l'ordinateur d'au moins 40000 Hz dans lequel un bloc d'échantillon sélectionné est analysé dans ses fréquences<sup>34</sup>.

Ces deux domaines peuvent être combinés dans une image tridimensionnelle pouvant à la fois exprimer la durée, l'amplitude et la fréquence d'un signal avec la création d'un troisième axe, mais cela reste peu intuitif visuellement si on l'aborde dans sa troisième dimensionnalité. Il existe un type de graphique qui utilise ce troisième axe, le spectrogramme dont l'intensité est rendue dans ses nuances de couleurs. Il permet une image en "deux dimensions" pour le suivi instinctif d'un signal dans son axe temporel et fréquentiel. Mais comme il a été dit au chapitre précédent, l'analyse issue de la transformée de Fourier implique une perte des données à la fois dans la résolution fréquentiel et les détails temporels du signal. La représentation la plus fidèle que nous arrivons à produire provient de la transformation par diffusion temps-fréquence, elle aussi citée ultérieurement, hautement fidèle à notre perception des ondes d'après ses créateurs. Il est appelé le scalogramme par ondelettes et est une version améliorée du spectrogramme représentant un signal dans son rapport temps-fréquences mais avec une meilleure distribution des différentes fréquences dans le temps, permettant une résolution plus adaptée pour l'analyse.

Ces domaines de représentation sont essentiels dans la recherche scientifique. Les acousticiens y voient un potentiel de compréhension de la source sonore, comment elle peut influencer notre perception qualitative du son qu'elle produit. L'acousticien comme le scientifique visent l'objet concret qu'ils perçoivent et le signal qu'ils mesurent.

### **c. Un processus de recherche paramétrique**

Ces analyses complexes se rejoignent dans une démarche se basant essentiellement sur les

mathématiques et les sciences physiques, dans laquelle le recours aux systèmes complexes dont les machines font partie est essentiel autant dans l'analyse que dans la production. Elle permet d'imposer un processus obéissant à des règles précises et précisément formulées qui assure une cohérence purement objective. Issue de la musique sérielle dont les règles se formulaient comme une algèbre, Pierre Schaeffer cite l'arrivée de la musique qu'il nomme "a priori". Ses créateurs s'inquiétaient de la rigueur intellectuelle et de l'emprise de l'intelligence abstraite sur le matériau sonore. "Plus les règles seront strictes et les calculs minutieux, mieux l'auteur sera préservé de ses propres caprices, de ses préférences inconscientes qui risqueraient de masquer son asservissement à des habitudes réflexes"<sup>35</sup>, dit-il. Dans ce fonctionnement, c'est la science qui garantit la correspondance entre la construction de l'objet concret et la construction intellectuelle. Le compositeur, l'artiste est amené à utiliser des appareillages électroniques et à se familiariser avec la notion de paramètre et avec le calcul de la variation de tout phénomène en fonction de ces paramètres.

Pourtant, l'analyse et la production des signaux sont intrinsèquement liées aux systèmes d'analyse non-humains. Les machines ont à l'évidence une manière différente d'analyser les signaux, leur champ d'analyse de données étant bien supérieur à nous. "Leur champ d'audibilité est extrêmement vaste. Elles sont douées d'une grande sensibilité et n'opèrent aucune sélection"<sup>36</sup>.

Pierre Schaeffer explique lui-même que la musique "a priori" est un idéal utopique vers une nouvelle forme de création. Elle se veut rigoureusement construite avec ses calculs précis, mais elle doit être intelligible. En quoi le résultat qui ressort d'une telle construction dont les acousticiens définissent et mesurent la forme est bien celui que nous percevons ? "Si notre oreille fonctionne effectivement comme un récepteur acoustique, il y a des chances pour qu'une musique élaborée a priori selon ces paramètres lui devienne un jour accessible. Mais s'il n'en n'est rien ? Si ces œuvres, intellectuellement et acoustiquement irréprochables, ne s'adressent en réalité qu'à une oreille théorique qui ne sera jamais la nôtre, le pari, alors, ne devient-il pas absurde ?"<sup>37</sup> dit Schaeffer. Il part du postulat que le pari est manqué, que le lien entre création abstraite et démarche scientifique est lointain. L'expérience que nous avons de notre environnement, des signaux que nous recevons ne peuvent simplement pas être définis par ces paramètres que mesurent ces appareils. Cela provoque obligatoirement un décalage entre le signal originel et notre captation de celui-ci que nous rapporte la représentation de ces systèmes d'analyse.

Quand Corsin Vogel, dans sa pièce Lire Freud, écouter Freud... - La voix de Sigmund Freud réinterprétée<sup>38</sup>, va transformer l'enregistrement mythique de Sigmund Freud réalisé par la BBC en 1938, il fait appel à l'interprétation issue de l'expérience de perception humaine. Au début, il effectue des changements vers une musicalité plus abstraite, par une démultiplication et une aliénation de la voix et du langage, puis des transformations plus radicales qui viennent métamorphoser le discours en une suite de sons étranges, qui laissent libre cours au surgissement des images et des associations. Il s'écarte du matériau brut de l'enregistrement et y opère des transformations pour accéder à diverses représentations mentales auprès des auditeurs. Il montre également un spectrogramme imprimé de cet enregistrement, sa représentation graphique des fréquences dans le temps. Bien qu'elle représente visuellement le matériau sans modifications, elle évoque tout de même au spectateur une physicalité d'autant plus troublante qu'elle demeure en même temps abstraite suscitant son interprétation et sa contemplation. Cela montre que nous ne pouvons pas expérimenter de manière paramétrique comme les machines.

Il devient nécessaire de ne pas dépendre que d'une description rigoureusement mathématique qui

prône le signal physique. Bien qu'elle puisse servir de base, le besoin est de s'appuyer également et principalement sur une typologie représentative de l'expérience humaine issue d'une certaine représentation mentale du signal. Elle pourrait fournir à la fois un processus de création entre l'artiste et son matériau, et également un échange "significatif" avec l'individu qui va expérimenter son œuvre, la sémiotique resurgit dans cette communication.

#### d. Recherche d'une typo-morphologie

L'objectif de Pierre Schaeffer en théorisant la musique concrète est de donner une nouvelle conception musicale en sortant d'un "essoufflement" de la musicologie conventionnelle dont il cite les problèmes suivants : la notion musicale dont la gamme et la tonalité forment l'archétype de l'objet musical, la source instrumentale où les musicologues se sont retrouvés démunis face aux nouveaux sons concrets ou électroniques avec une disparition de l'orchestre traditionnel, et enfin le commentaire esthétique devenu creux aux caractères disparates. "Si toute explication se dérobe, qu'elle soit notionnelle, instrumentale ou esthétique, mieux vaudrait avouer, somme toute, que nous ne savons pas grand chose de la musique. Et pis encore, que ce que nous en savons est de nature à nous égarer plutôt qu'à nous conduire"<sup>39</sup> dit-il.

Il introduit le concept de matière/forme, c'est-à-dire qu'un son pourrait être comparé à une matière possédant une certaine forme. La description de la musique, à partir de l'objet sonore, repose sur ce que Schaeffer appelle une écoute réduite, c'est-à-dire une prise en compte du son en faisant abstraction de toute signification. Il conçoit dans les années 50' un modulateur de forme, le morphophone, qui permettait des modifications morphologiques par accumulation d'événements, filtrage et réinjection. L'appareil était constitué d'un disque d'environ cinquante centimètres de diamètre, sur la tranche duquel était collée une bande magnétique, face enregistrable vers l'extérieur. Sur le pourtour du disque étaient disposées une tête d'effacement, une tête d'enregistrement et dix têtes de lecture dont la position était réglable. Chacune de ces têtes de lecture délivrait donc un signal décalé dans le temps, dont le delay était réglable. Les dix signaux étaient amplifiés et filtrés de manière indépendante, avant d'être mixés ensemble et éventuellement réinjectés dans la boucle de lecture. Il était possible d'obtenir, grâce à ce système, un son continu à partir d'un son limité dans le temps, les différents délais se superposant et masquant le reprise de la boucle. En bouclant le son sur lui-même, il devient isolé de son environnement : il devient un objet concret décontextualisé et utilisable avec d'autres sons prélevés dans des contextes totalement différents. Cette "matière", au sens schaefferien du terme, pouvait alors être sujette à un travail morphologique.

La typo-morphologie est née des réflexions de Schaeffer à partir de l'écoute réduite lui permettant de caractériser et de réaliser un premier classement des objets sonores. La morphologie suppose l'idée de contour, de délimitation d'une unité. Dans un signal, ce contour est déterminé par le trajet du silence au silence, ce qui donne sa "forme", sa limite avec son état inexistant. La morphologie tend donc vers une qualification de l'objet dont l'aspect temporel est un trajet qui façonne la matière, il possède une temporalité de forme. Les premiers synthétiseurs analogiques reposent d'ailleurs principalement sur l'évolution en intensité d'un son en quatre phases : attack, decay, sustain, release. Le besoin d'une typologie à partir de cette qualification morphologique est donc importante pour aboutir à des critères qui soient suffisamment généraux sans toutefois être indistincts, répondant à une nécessité d'identification. "La morphologie reçoit de la typologie des fragments tant bien que mal prélevés dans le continuum sonore, aux fins de les évaluer, de les

qualifier<sup>40</sup>. Dans ce concept de typo-morphologie, le lien entre sonorité et musicalité, matière et forme est mis en avant, ce qui montre que c'est une intention musicale, face à des objets sonores disparates, qui fonde la morphologie.

Comme base de sa classification, Schaeffer parle de matière fixe, c'est-à-dire où la matière se perpétue égale à elle-même. A partir d'une analyse de ces objets sonores, on peut établir une classification sur l'aspect mélodique, Schaeffer le nomme le critère de masse qui correspond à l'occupation du champ des hauteurs par le son. A partir de ce critère, on peut distinguer la proportion de bruit accompagnant un contenu harmonique, appelé le grain, également l'encombrement en tessiture, appelé l'épaisseur, et d'autres critères encore. Le son tonique par exemple représente le cas où la tessiture est occupée en un seul point du point de vue perceptif. En parallèle de ce critère on peut donc aborder les variations temporelles qui donnent forme à cette matière où intervient la perception de la durée. Schaeffer pour expliquer cette autre aspect théorise l'impossible : "Imaginons qu'il nous soit possible d'arrêter un son pour entendre ce qu'il est, à un instant donné de notre écoute : ce que nous saisissons alors, c'est ce que nous appellerons sa matière, complexe, établie en tessiture et en relations nuancées de la contexture sonore. Écoutons maintenant l'histoire du son : nous prenons alors conscience de l'évolution dans la durée de ce qui avait été fixé pour un instant, d'un trajet qui façonne cette matière"<sup>41</sup>. C'est la constitution d'un profil temporel qui sera reconnu s'il s'agit aussi bien d'un son sinusoïdal pur ou du bruit le plus épais possible. Dans ce critère que Schaeffer appelle par ailleurs le solfège des formes on peut y inclure les variations d'attack, release, on peut parler de répétition, d'impulsion de sons entretenu, etc. Bien sûr entre ces deux critères se forment les sons dits "évoluants" pouvant être des plus complexes, variant aussi bien en matière qu'en forme. N'importe quel fragment de langage parlé, humain ou animal, de modulation instrumentale ou de bruit naturel, peut être qualifié comme tel.

A partir de ces classifications, Schaeffer développe des graphismes dont les paramètres sont les variations en durée, en intensité et en hauteur. C'est ainsi qu'il parvient à une méthode de classification des sons complexes en familles<sup>42</sup>. Ces graphismes se définissent sur trois plans : le plan dynamique ou des formes du son, c'est-à-dire son rapport dans le temps. Le plan harmonique ou des timbres qui constituent ses critères d'épaisseur, de richesse. Et le plan mélodique ou des tessitures, comme pour le plan dynamique, de l'allure du corps de la note dans le temps. Dans son analyse des sons, Schaeffer dénombre une vingtaine de familles de critères de forme, une dizaine de critères de timbre et quatre ou cinq critères de tessiture. Le nombre de combinaisons a l'air de pouvoir être facilement déterminable mais c'est à prendre à la légère car certains critères ont un degré d'importance. Par exemple si l'on était amené à distinguer des sons plus ou moins minces ou plus ou moins épais. De son estimation, Schaeffer parle de plus de cinquante mille combinaisons.

Il est évident de pouvoir faire le rapprochement entre cette classification et tous les autres types de signaux, car ce qui est universel dans la formation d'un signal est bien son rapport entre matière et forme. Cela inclut de ce fait la complexité des ondes radios modulées en FM ou AM, une ampoule d'une intensité lumineuse qui varie de manière incertaine, etc. Un bon exemple serait l'installation sonore et lumineuse qui se veut infinie Dreamhouse de La Monte Yound et Marian Zazeela avec ses multiples synthétiseurs et projecteurs de lumière, qui montre bien la ressemblance entre ondes sonores et lumineuses. Cette pièce crée de la matière, riche d'un côté en timbres sonores, de l'autre en nuance de violette. Et également la forme presque stable qui varie sur de très longues durées de l'harmonie sonore et du changement lumineux. Elle est accompagnée sur le plan mélodique, du changement cyclique de la phase sonore à certains moments rapides et à d'autres lents.

## e. Les unités sémiotiques temporelles

Le principe d'objet sonore défini par l'écoute réduite est critiquable, car en ôtant le son de toute signification, en l'arrachant de tous contextes signifians, Pierre Schaeffer ignore l'aspect fondamental de l'expérience de perception humaine. "Nous ne pensons qu'en signes", pour reprendre une nouvelle fois une citation de Charles Sanders Peirce sur la sémiotique. Mais il est intéressant d'en faire en partie abstraction pour avoir une classification générale qui ne repose pas sur une identification de la source du signal. Comme Schaeffer l'explique : "c'est l'objet sonore, donné dans la perception, qui désigne le signal à étudier, et qu'il ne saurait donc être question de le reconstruire à partir du signal"<sup>43</sup>. Une écoute par référence environnementale, venant du monde extérieur, enlève l'objet sonore et lui enlève notre possibilité de l'ouïr, d'en avoir une expérience nouvelle.

Alors peut-être devrait-on trouver une classification du signal qui n'est pas vide de sens, tout en sortant d'une prise de conscience de son contexte d'origine. Les compositeurs, mathématiciens et physiciens théoriciens dans la recherche musicale du MIM, le laboratoire Musique et Informatique de Marseille créée en 1984 à l'initiative de Marcel Frémiot, trouvent cette signification directement dans la morphologie de l'objet sonore, dans son rapport forme/matière. Le problème qu'ils soulèvent sur les recherches de Pierre Schaeffer provient du fait qu'elles étaient expérimentales mais pas les musiques qui en découlent. Cela entache la légitimité de recherche car les définitions et les méthodes sont approximatives. Mais les travaux originaux de cette recherche expérimentale de la musique avant l'ère "scientifique" ont contribué à la classification entreprise par le MIM.

Leur constat est que, dans l'évolution technique du langage musical, nous avons pu nous opposer à la gestion des hauteurs de la musique traditionnelle pour une recherche vers une nouvelle gestion du temps dont fait partie la création de "rythmes", dans le cas de regroupements longs de différentes longueurs, et des instants réguliers plus ou moins abstraits mais toujours relativement courts dits "mesures". Mais, comme l'explique Marcel Frémiot, chercheur du MIM, "depuis l'avènement de l'ars mensurabilis, les révolutions au sein des systèmes d'organisation des hauteurs n'ont pas introduit de nouvelles conceptions du temps mais simplement des gestion différentes de la rythmique"<sup>44</sup>. C'est à dire que la rythmie ne respecte pas une gestion musicale sur une temporalité linéaire qui se rapproche de notre perception de la musique ou de la vie quotidienne, où le temps est perçu comme un déroulement linéaire de brefs instants de durées égales entre elles, aisément mémorisables, de courts instants sans grande disparité. La musique concrète est aussi de ce bord : même avec ses mesures absentes, les bruits sont tout de même réduits à l'état de brèves "cellules rythmiques", elles ne sont pas déroulées sur une temporalité linéaire.

Les chercheurs posent cette hypothèse : "La gestion de la temporalité est actuellement le moyen grâce auquel une nouvelle structuration du langage peut être recherchée, et peut-être proposée" (20). Les moyens actuels de communication dans notre société occidentale ne portent pas une sémiotique perçue aisément par le plus grand nombre. C'est l'organisation de celle-ci qui est mise en cause par les chercheurs avec ses lieux de travail et de non-travail, ses espaces de vie personnels et collectifs, ses biens en tout point strictement balisés, mesurés. C'est en passe d'une musique nouvelle, d'un nouveau langage, que peut s'imaginer une nouvelle société. Et donc les chercheurs considèrent les figures musicales comme de possibles événements de communication qu'ils appellent les Unités Sémiotiques Temporelles pour UST. Elles s'inscrivent dans des durées de mémorisation fluctuant, selon leur nature, entre les valeurs longues qui s'étirent au-delà de la mé-

moire immédiate et les valeurs brèves qui se limitent au pouvoir séparateur de l'oreille. "La pratique des musiciens les mène à appréhender les phénomènes sonores plutôt par des considérations de sens plutôt que par des considérations typo-morphologiques, comme le propose Schaeffer. C'est à dire qu'à travers ce qu'ils évoquent en arrière-plan, soit au niveau des images suscitées par les sons, soit au niveau de l'aventure de la matière sonore elle-même"<sup>45</sup>.

Le vocabulaire descriptif de Schaeffer et sa grille de classification des objets sonores constituent une bonne base pour l'analyse. La question du temps est d'ailleurs un point clé de son travail, la complexité morphologique des sons concrets décrite par Schaeffer et son rapport matière/forme en est la preuve. C'est pourquoi le MIM a entrepris d'introduire une signification dans la description des éléments sonores, et de les définir comme des Objets Sémiotiques.

"Une Unité Sémiotique Temporelle est un segment musical, même hors contexte qui possède une signification temporelle précise due à son organisation morphologique"<sup>46</sup>. Une première définition est énoncée dans les recherches du MIM qui pose les critères de segmentation d'un fragment musical à étudier. Elle repose sur une recherche du segment minimal qui respecte un sens défini. Ils définissent deux grande classes de segmentation : les UST ayant une durée délimitée dans le temps dans l'empan de mémoire immédiate qui apparaissent comme une figure, inférieures à 5 ou 10 secondes, et les UST ayant une durée non-délimitée dans le temps, dont le processus continu pourrait durer éternellement. D'autres critères morphologiques définissent les UST : une ou plusieurs phases, qui renseignent l'organisation de l'unité, avec ou sans direction qui prend en compte la qualité et la quantité d'informations qui donnent ou non une orientation, et la répétition qui décrit certaines unités constituées d'une formule en répétition. Puis, les UST sont accompagnées d'une description sémantique qui définit le caractère dynamique qui anime sa structure temporelle. Elle exprime sous forme de métaphore, ce que nous ressentons à l'écoute avec le souci de précision, de justesse de l'image. D'autres caractéristiques pertinentes peuvent ensuite s'ajouter à la description.

Un exemple d'UST pour se rendre compte de cette classification des plus significative est l'unité "en suspension" : elle est définie dans sa description morphologique comme une "unité non délimitée dans le temps, constituée d'une formule en répétition quasi sans variation, dans un déroulement temporel assez lent et dont la matière sonore et/ou les événements évoluent peu". Sa description sémantique la définit à son tour comme "sans direction et en flottement. Équilibre des forces en présence donnant une sensation d'immobilité liée à un sentiment d'attente hésitante. On sait qu'il va arriver quelque chose, on ne sait ni quand et quoi". Autres caractéristiques, "irrégularité ou absence des points d'appui temporels"<sup>47</sup>. D'autres unités existent comme "chute", "contracté-étendu", "par vagues", dont la signification de leur nom peut déjà vous évoquer un comportement temporel. Un système de représentation graphique des UST existe, développé par Julie Rousset. Elle prend en compte la description morphologique, notamment en ce qui concerne l'énergie, le caractère directionnel, les points de rupture pour créer des formes pouvant correctement correspondre à la grille de classification que le MIM a constituée. Bien sûr, chacun peut former sa propre formulation graphique ou stylistique dans cette classification, comme Jacques Madelbrodt, peintre et physicien théoricien à ses heures perdues qui a effectué un travail de recherche sur les UST. Ses dessins sont consultables sur le site internet du MIM<sup>48</sup>.

Dans les UST, le verbal intervient pour paraphraser une signification musicale : il n'existe jamais un mot qui en donne la traduction exacte et c'est donc un ensemble de phrases et de commentaires métaphoriques qui finissent par en donner un équivalent rapproché. Il est important de le noter

et c'est le MIM qui soulève ce point suivant : "la dénomination des UST ne doit pas être prise pour leur signification : ce n'est qu'une étiquette. (...) elle dépend du groupe d'écoute, l'attitude ou la conduite adoptée en commun"<sup>49</sup>. Les chercheurs veulent se rapprocher vers une définition "opérationnalisée" qui incite à orienter l'attention vers une direction définie pour être sensible à une sémantique du temps.

Les UST servent à définir de manière significative les phénomènes sonores, mais avec l'exemple donné ci-dessus, il serait possible de l'assigner à n'importe quel autre type de phénomène. "Le temps est mis en relation avec n'importe quelle expérience de la vie, des actes, des succession d'événements quelconque. [...] On perçoit le temps à travers quelque chose qui change ou au contraire quelque chose qui continue, mais il faut qu'il y ait quelque chose pour qu'il puisse s'inscrire dans le temps et posséder une signification temporelle"<sup>50</sup>. Tous les signaux fonctionnent tant qu'ils peuvent s'inscrire dans un imaginaire temporel.

Une compréhension des phénomènes de notre environnement propre à notre expérience sensoriel, sur le plan temporel, est très sûrement une avancée majeure. La signification donnée par la démarche de définir les UST offre une description à la fois rigoureuse par des termes définis et à la fois oblige l'interprétation par l'individu. De cette interprétation peut naître une conception quasi réaliste de l'objet car elle puise non pas dans des règles strictes, mais dans un référentiel propre à l'individu, confirmant une certaine "validité écologique" dont j'ai parlé ultérieurement. Les UST sont un outil intéressant pour la création, qu'elle soit musicale, visuelle ou adoptant une autre forme. Le rapport qu'elles définissent avec l'objet permet la formulation de formes propres aux intentions du compositeur et toujours dans une démarche rigoureuse et riche de signification morphologique.

# UNE TRANSFORMATION OBLI- GATOIRE

## 2) Détermination par le médium

### a. La théorie de l'information

Le médium a été défini comme le centre du système de communication, comme le canal qui sert d'intermédiaire entre l'émetteur et le récepteur ; la source et le destinataire. Il s'inclut évidemment dans le schéma défini par la théorie de l'information de Claude Shannon comme le canal entre le signal émis et le signal reçu. Mais il existe un aspect de cette théorie que j'ai délibérément omis de mentionner, qui s'ajoute au système de communication et qui est au centre des recherches publiées par Shannon dans son article paru en 1948. Cet aspect manquant est la source de bruit. C'est-à-dire que le récepteur est incertain quant au message réellement émis.

Shannon développa sa théorie dans un contexte bien précis : au milieu du 20<sup>e</sup> siècle, les communications étaient largement dominées par l'analogique dont les sons et les images étaient transformés en signaux électriques dont l'amplitude et/ou la fréquence sont des fonctions continues du signal d'entrée. La source de bruit qu'il décrit était bien présente pendant la transmission des signaux qui résultait vers une dégradation de l'information reçue. Cette dégradation avait pour conséquence par exemple d'un grésillement dans le son qui sortait des radios ou d'un brouillage sur l'écran de la télévision. C'est dans une volonté de corriger cette transformation qu'il formalisa la nature statistique de "l'information perdue" et donc de l'entropie de l'information.

Dans son article, il considère le cas dans lequel un signal est perturbé par cette source de bruit pendant sa transmission. Il cite deux situations : si un signal émis produit toujours le même signal reçu alors le signal reçu est une fonction définie du signal émis, la perturbation dans la transmission peut être appelée distorsion. Si cette fonction du signal émis possède son opposée, cette distorsion peut en principe être corrigée en opérant sur le signal reçu la fonction inverse. Ce cas n'est possible que si le récepteur a connaissance du signal émis, et donc de la nature exacte de la distorsion. Le second cas est le plus intéressant, c'est à partir de lui que se forment de nombreuses théories probabilistes qui englobent les réflexions sur les communications. Le signal ne subit pas les mêmes perturbations lors de sa transmission. Dans ce cas, nous supposons que le signal reçu est en fonction du signal émis et d'une variable indépendante, le bruit. Shannon considère donc que le signal reçu possède deux canaux, celui du signal émis, et celui de la source de bruit. On pourrait comparer ce rapport comme un signal qui va modifier un autre différent, pour qu'en sortie se crée un nouveau.

"Si le canal de bruit est alimenté par une source, il y a alors deux procédés statistiques qui se déroulent : la source et le bruit. Ainsi il y a de nombreuses entropies pouvant être calculées"<sup>51</sup>. L'entropie par Shannon, que l'on peut également nommer l'incertitude de Shannon, correspond à la quantité d'information contenue ou fournie par une source d'information. Plus la source émet d'informations différentes, plus l'entropie sera grande, et plus il sera difficile pour que le récepteur puisse définir sans ambiguïté ce que la source a transmis. Il considère que la source et le des-

tinatoire possèdent leur entropie respective, par exemple si elles sont égales, alors ce n'est pas un cas où il y a une perturbation du signal. Puis il considère qu'entre les deux, il y a deux incertitudes qui conditionnent le signal, l'une quand le signal émis est connu et l'autre quand c'est le signal reçu. On peut donc définir le rapport entre le signal émis et le signal perçu passant au travers de ce canal de bruit comme deux fonctions qui se conditionnent si une des deux n'est pas connue de l'autre.

De façon évidente, pour corriger cette dégradation, il faut mesurer la quantité d'information qui est effectivement transmise, par opposition à la quantité d'informations produite par la source. La différence entre ces deux quantités représente l'ambiguïté ou l'incertitude dans le signal reçu. Pour la mesurer, Shannon explique qu'il faudrait utiliser l'entropie conditionnelle citée ci-dessus, qui mesure cette ambiguïté. Le taux de transmission réel est égale à l'entropie de la source moins l'entropie conditionnelle. Ce taux représente l'information "perdue" durant la transmission. Dans l'exemple où un seul symbole binaire peut être transmis, si un 0 est reçu, il y a 99% de chance qu'un 0 ait été transmis et 1% de chance qu'un 1 ait été transmis. Et inversement si un 1 est reçu. Mais la résolution reste incertaine si l'entropie augmente, dans l'exemple ci-dessus, si la taille de la séquence de symboles qui est envoyée augmente. Dans ce cas, on ne pourrait jamais transmettre une information de manière totalement sûre. Cependant, en envoyant l'information sous une forme redondante, on peut réduire la probabilité d'erreurs. Par exemple, en répétant le message de nombreuses fois et en faisant une analyse statistique des différentes versions reçues, on peut rendre la probabilité d'erreurs très faible. Il est possible d'envoyer de l'information à travers le canal, avec une fréquence d'erreurs ou un taux aussi faible que souhaité, en utilisant un codage approprié<sup>52</sup>.

Aujourd'hui, les signaux sont également codés sous forme numérique. Un bruit ajouté pendant la transmission se traduira par une erreur sur les données numériques transmises, se manifestant par exemple par l'apparition de pixels aberrants sur une image de télévision. J'ai en tête l'installation/performance The Pirate Cinema du collectif Disnovation.org présenté comme une pièce avec plusieurs écrans montrant le transfert Peer to Peer d'Internet en temps réel, un modèle d'échange en réseau où chaque entité est la fois client et utilisateur, largement répandu pour le téléchargement illégal. Dans le but de le mettre en valeur, lui qui se veut cachée par ses utilisateurs, l'installation produit une sélection des fichiers actuellement en train de s'échanger et donc le rendu en temps réel sur les écrans rend parfois des images brouillées et fragmentées, conséquence des données manquantes<sup>53</sup>.

Shannon définit le canal de la manière suivante : "le canal de communication est simplement le médium utilisé pour transmettre le signal de l'émetteur au récepteur. Cela peut-être une paire de fils électriques, un câble coaxial, une bande de fréquence radio, un faisceau de lumière, etc."<sup>54</sup>. Le canal est le support physique qui permet de transporter le signal d'un point à un autre. C'est le "tuyau" par lequel l'information est acheminée. Cela place le médium au cœur du bruit qui provoque cette perturbation sur le signal reçu. C'est lui la source du bruit.

## **b. Un environnement bruyant**

On sait maintenant que le médium provoque forcément une certaine perturbation dans le signal qui le traverse. Qu'il provoque ce que Shannon appelle du "bruit". Mais qu'en est-il de ce terme et de sa signification dans une société qui use fortement des médiums pour fonctionner ?

R. Murray Schafer, dans son ouvrage du Paysage sonore, présente sous quatre formes la notion de "bruit" : c'est un son non désiré, c'est un son non musical - dans la mesure où il ne possède pas les mêmes propriétés périodiques d'un son musical -, c'est tout son puissant dans le sens qu'on lui donne aujourd'hui, et enfin c'est une perturbation dans tout signal que ce soit en électronique ou en mécanique - "il fait référence à toute perturbation extérieure du signal, telle que des grésillement dans une communication téléphonique, ou neige sur un écran de télévision"<sup>55</sup>. C'est cette dernière qui nous intéresse car elle est à la fois interdisciplinaire car non dédiée essentiellement au son et représente à la fois clairement ce qu'est le "bruit" d'après la théorie de l'information.

Mais j'aimerais m'attarder sur la première de ces définitions qui intéresse Schafer : celle de "son non désiré". Pour lui, elle fait du bruit un terme subjectif dans une détermination des sons indésirables à l'intérieur d'une société en fonction d'un certain consensus de la population. "La musique de l'un peut être le bruit de l'autre" dit-il. Et dans cette détermination se retrouvent des législations traditionnelles face au problème du bruit. Elles impliquent une opinion publique, la rendant qualitative car représentative, significative d'une population pour une population. Ces sons gênants ne sont pas déterminés arbitrairement par des individus mais par des sociétés. Cette stigmatisation est révélatrice du comportement culturel d'une population. Schafer donne comme exemple une loi de la ville de Gêne, le Regolamento di Polizia Comunale en 1969 qui stipule dans un de ses articles qu'entre 21 heures et 7 heures, les volets sont ouverts et fermés le plus doucement possible. Un autre article de cette loi interdit également le déplacement des meubles entre 23 heures et 7 heures. Ces sons sont représentatifs de sons non musicaux de la deuxième notion présentée par Schafer, des sons non mélodieux, désagréables. Une notion qu'il faut tout de même nuancer car l'on pourrait trouver agréable le bruit du vent qui fait bouger les feuilles d'arbres, des sons à vibrations non périodiques, par opposition aux sons musicaux composés de vibrations périodiques, c'est pourquoi d'ailleurs ces interdictions diffèrent d'une culture à une autre ; d'un individu à l'autre.

Une autre législation, dite quantitative par Schafer existe, cette fois désignée arbitrairement par les individus. Elle désigne les sons puissants, de la troisième notion, établissant en décibel des limites d'intensité. Par exemple, un arrêté fixant le niveau sonore autorisé pour une automobile à 85 décibels, le véhicule qui en produit 86 sera bruyant, alors qu'un autre, avec 84 décibels ne le sera pas - c'est du moins ce que la loi voudrait nous faire croire -. Cette définition quantitative du son puissant est peu satisfaisante, les bruits gênants ne sont pas forcément des bruits intenses mais si on les définit de cette manière, c'est avant tout pour des questions de risque de surdité que leur intensité provoque. Si vous vous retrouviez à écouter pendant une longue période de temps des sons supérieurs à 85 décibels, cela pourrait constituer une grave menace pour vos oreilles. Cela peut mener vers des dégâts internes irréversibles, d'où l'intérêt d'imposer des normes de sécurité dans les endroits susceptibles de produire des bruits d'une telle intensité.

Cette connotation du bruit non désiré n'est pas nouvelle, Jules César lui-même créa une des premières législations dans son sénatus-consulte en l'an 44 avant J.-C. Il dit : "Désormais, aucun véhicule sur roues, quel qu'il soit, ne sera autorisé à pénétrer dans l'enceinte de la ville entre le lever du soleil et l'heure précédant son coucher. (...) Ceux qui seront entrés durant la nuit, et se trouveront encore à l'aube à l'intérieur des murs, devront faire halte et attendre jusqu'à l'heure autorisée", la circulation ne devait guère faciliter le sommeil durant la nuit<sup>56</sup>. En Angleterre, le parlement sous le règne d'Elisabeth 1<sup>re</sup> vota deux lois interdisant la musique dans les rues. On retrouve de semblables législations dans tous les pays d'Europe. Maintenant on peut également en

retrouver sur la pollution lumineuse de nos villes, que l'on peut considérer comme une autre source de bruit. Par exemple, récemment en France en réaction à de plus en plus d'activités humaines qui se poursuivent après le coucher du soleil, possibles que grâce à la lumière artificielle fonctionnelle ou d'ambiance<sup>57</sup>. Cet éclairage peut avoir un impact sur la biodiversité et la santé humaine et donc en 2018 une loi impose un encadrement des horaires de fonctionnement des éclairages des façades de bâtiments non résidentiels ainsi que celui des bureaux et vitrines qui y sont installés.

Il est important de comprendre que le bruit non désiré est très fortement lié à une activité humaine conséquente, aux endroits d'une forte concentration de la population. Et ces villes, également les campagnes, étaient accompagnées des bruits de la technologie qui avaient cheminé avec elles, liés à l'idée du progrès. Schafer dit : "Les machines tournent jour et nuit au cœur de nos cités, détruisant, construisant, détruisant, et le grand champ de bataille du monde moderne, c'est la blitzkrieg du voisinage". Il marque l'arrivée de la révolution industrielle comme parfois désastreuse pour l'humanité et la nature souffrant d'une surpopulation sonore, d'une surpopulation de bruits en tous genres. C'est un paysage qu'il nomme lo-fi, à l'inverse de hi-fi où chaque son est clairement perçu, en raison du faible niveau sonore ambiant. Il compare cette arrivée avec une certaine domination, un pouvoir, un impérialisme qui s'est imposée sur les populations avec l'apparition des premières technologies dans les villes et les provinces d'abord en Angleterre puis dans les autres pays occidentaux. L'arrivée des premières usines et leurs machines à vapeur étaient source de désastre social pour les travailleurs obligés de se rendre dans les villes pour être privés de leurs droits, accompagnés du fracas du fer. Il fallut peu de temps pour que la machine apparaisse et s'impose dans le monde entier et il est certain qu'elles ont eu un effet sur l'individu. "Lorsqu'ils travaillaient dans les champs derrière le remblai maintenant familier, le battement rythmé des moteurs, après les avoir fait tressauter, les engourdissait comme un narcotique", dit D.H Lawrence en 1915<sup>58</sup>. Les bruits de la vie industrielle moderne l'ont emporté sur ceux de la nature remarque alors Schafer. On peut parler de bruit comme source de perturbation par l'environnement sur la perception, sur l'individu, apporté par le progrès technique de notre civilisation.

Logiquement, suivit la révolution électrique, et c'est très sûrement à ce moment que cette même notion de bruit est devenue claire. Les communications électriques apparaissaient avec l'accroissement de la vitesse de transmission de l'information, la multiplication des sources et l'augmentation de leur portée grâce à des systèmes d'amplification. La schizophonie, citée au début, fait son apparition comme la séparation entre l'information émise et sa reproduction dans sa transmission. Cela rendait les nouveaux appareils issus de l'électricité comme des extensions de nous-même. A cela s'ajoutaient donc de nouvelles sources de perturbation sur le signal dès que l'information est devenue reproductible. Schafer parle de mur sonore, ayant la capacité d'isoler les bruits comme les murs physiques et acoustiques. Avec l'amplification des sons, le mur sonore est devenu pour l'homme autant que le mur dans l'espace, une réalité. "L'adolescent vit en permanence avec sa radio, la ménagère avec sa télévision, l'ouvrier avec la musique qu'on lui diffuse pour améliorer sa productivité" dit Schafer<sup>59</sup>. Cela peut s'appliquer aussi à la pollution lumineuse, la ville étant elle-même un obstacle lumineux et source de matraquage de signalétique, tout comme les ondes radios qui possèdent une place conséquente dans notre quotidien dont les appareils émettent et reçoivent des signaux en permanence ; relayant encore et encore l'information dans toutes les directions.

Dès que la transmission technique de l'information du signal est apparue, les nouveaux dispositifs

devenaient la cause de sa détérioration, déroulant par la même occasion, un voile sur notre environnement perceptif. Le message inscrit dans les signaux émis par cet environnement subit alors obligatoirement une métamorphose qui nous est indéterminable. Elle est déterminée par le bruit dans le médium.

Radio Fischii Weiss du collectif p-node rend compte de cette perturbation dans une réaction en chaîne de la reproduction de l'information à travers de multiples médiums. Le son de la voix est converti par voies lumineuse, aqueuse, mécanique ou encore hertzienne à l'échelle de la salle d'exposition. Je lis une partie de l'extrait du texte diffusé dans la pièce pour vous donner un ordre d'idée : "Je sors par le pavillon d'un haut-parleur, je traverse l'air et j'arrive dans un micro. Je passe dans une antenne en forme de grande fourchette du diable, je me répand dans l'air et je suis capté par un enchevêtrement de câble électrique en forme de bobine, directement branché dans une console de mixage, vers le module suivant. J'arrive comme signal acoustique de forme électrique, et là j'alterne un grand nombre de fois entre 0 et 1, jusqu'à arriver à la LED. Dans la LED, je clignote autant de fois qu'il me faut pour arriver de l'autre côté, à la cellule solaire qui reçoit le clignotement. Puis je continue mon chemin" et ainsi de suite<sup>60</sup>. D'un module à l'autre, le signal se détériore en fonction du médium dans lequel il passe, rendant à la fin une disparition complète du signal originel et donc du message.

L'information est soumise dans son passage dans chaque médium de l'environnement qu'elle traverse à un obstacle, un bruit, et il y en aura sûrement un qui saura la transformer assez pour n'en récupérer aucune trace de son origine, vers une destruction, une disparition totale.

### c. Le médium est le message

Étant nous-même face à un système médiatisé, surtout aujourd'hui après la révolution électrique qui peut englober un grand nombre de facettes de notre quotidien, les médiums façonnent et structurent les patrons d'interdépendance sociale et chacun des aspects de nos vies personnelles. Ce n'est pas nouveau, les sociétés ont toujours été configurées en majorité par la nature des médias par lesquels nous communiquons et non pas par le contenu de la communication.

Reprenons l'exemple d'Umberto Eco, le périple de M. Sigma où il tombe dans de nombreuses relations de signes avec son environnement pour pouvoir consulter un médecin et avoir un diagnostic de son mal de ventre. Si on plaçait son histoire de nos jours où Internet est en vigueur, où le monde est de plus en plus connecté à lui-même et où les moyens techniques ont fortement évolué, alors les moyens de communication employés diffèrent drastiquement. Maintenant les rendez-vous peuvent s'effectuer en quelques clics en ligne, pareil pour le déplacement, ce sont les transports fournis dans la ville, notamment les vélos en libre service qui ont de plus en plus pris la place des taxis, nous avons également les techniques de géolocalisation pour se rendre à un endroit précis de la ville, etc. L'évolution technique d'une société transforme la manière que nous avons de percevoir notre environnement, de vivre et de communiquer à l'intérieur. Et au vu des avancées technologiques de ces dernières décennies, c'est devenu un besoin constant et presque automatique de s'adapter aux médiums de l'environnement qui en dépend. "La survie n'est pas possible si l'on aborde son environnement, le drame social, avec un point de vue fixe et immuable"<sup>61</sup>.

"Le médium est le message", une formulation qui provient du livre *The Medium is the Message* de Marshall McLuhan et Quentin Fiore publié en 1967. "Massage" car McLuhan voulait jouer sur les

mots pour souligner comment le médium affecte notre perception et nos sens. D'après lui, les caractéristiques du médium façonnent la manière dont le message est reçu et interprété. La télévision par exemple, en tant que médium visuel, transmet des informations différemment de la radio, qui est auditive. L'information sera interprétée différemment en fonction du médium qu'elle traverse. Il voit donc les technologies comme une extension des capacités humaines comme la roue prolongeant la capacité de marcher, les vêtements comme prolongement de la peau humaine et les médias électroniques comme des extensions de notre système nerveux central. Ces extensions ont un impact sur nos perceptions et nos interactions avec le monde.

La Promenade électromagnétique de Christina Kubisch rend compte de la faculté des moyens techniques de nous donner une autre version du monde par leur biais : elle fit construire des écouteurs équipés de bobines d'induction qui permettent à l'auditeur d'entendre les ondes électromagnétiques émises des objets électriques qui les entourent. Le public était invité à déambuler dans la ville à partir d'une carte indiquant des "points d'intérêt électromagnétiques". Les sons résultant de la conversion directe étaient très variés et rendaient compte d'une présence qui nous est la plupart du temps invisible mais effectivement omniprésente dans notre quotidien. Les ondes électromagnétiques deviennent perceptibles grâce aux écouteurs confectionnés par Kubisch, ce sont donc ces médiums qui nous rendent réelle l'information qu'ils peuvent transmettre<sup>62</sup>. L'information devient alors dépendante des médiums, ils imposent leur mode de perception sur elle, et donc sur le message.

L'arrivée des médias électroniques comme la télévision ont sonné le changement de notre perception sensorielle et nos structures sociales. Avant eux, l'imprimé était le moyen principal de transmission de l'information pour nos sociétés, ils ont favorisé l'individualisme, la spécialisation et la pensée linéaire car ils exigeaient une lecture séquentielle. Les médias électroniques eux encouragent une pensée plus globale et participative car ils permettent une interaction simultanée et instantanée. "Notre monde configuré par l'électricité nous a forcés à passer de l'habitude de la classification des données au mode de reconnaissance des motifs. Nous ne pouvons plus construire de manière séquentielle, bloc par bloc, étape par étape, car la communication instantanée garantit que tous les facteurs de l'environnement et de l'expérience coexistent dans un état d'interaction active" dit McLuhan<sup>63</sup>. Les médias de nos jours transforment la perception du temps et de l'espace, ils les compressent en rendant l'information instantanément accessible partout dans le monde. Mais de cette manière, ce sont eux qui nous donnent cette perception et pas le monde. Cette compression modifie la façon dont nous comprenons et interagissons avec notre environnement. "Tous les médias nous influencent complètement. Ils sont si envahissants dans leurs conséquences personnelles, politiques, économiques, esthétiques, psychologiques, morales, éthiques et sociales qu'ils ne laissent aucune partie de nous intouchée, non affectée, inchangée"<sup>64</sup>.

La notion de "bruit" perturbant l'information reçue revient, cette fois pas dans le sens où il va directement altérer le signal à cause d'un certain défaut de transmission du médium, mais par sa nature même, par son processus et par l'interprétation que l'on se fait du message qu'il nous donne. On peut parler également "d'effet" de l'environnement par lequel l'information passe et du "faire effet" comme aiment l'appeler Jean François Angoyard et Henry Torgue dans leur livre A l'écoute de l'environnement, répertoire des effets sonores. Pour eux les caractéristiques des sons, les effets sonores, influencent notre perception et notre compréhension de l'environnement de la même manière que McLuhan soutient que la nature du médium affecte plus profondément la société que le contenu qu'il véhicule. Le "faire effet" dépend du contexte et de l'environnement dans lequel l'information va se transmettre. Par exemple, un son réverbéré dans une cathédrale ne sera

pas perçu de la même manière que le même son dans une petite pièce insonorisée, modifiant ainsi le "message" sonore. Les effets de l'environnement comme des médiums, influencent les sens et les comportements. Notre perception suppose un certain travail d'interprétation de l'effet, c'est-à-dire que le signal est émis passant par de multiples médiums, il est interrogé par l'interprétation qu'on en fait. "Dès qu'un son existe physiquement, il met en jeu un milieu situé et qualifié singulièrement par la morphologie et la matière de l'aménagement, par la météorologie, par la disposition de la végétation. A travers la notion d'effet et grâce à la mise en situation, la dimension physique et la dimension humaine trouvent donc un sens commun" expliquent les deux chercheurs<sup>65</sup>.

La structure physique et perceptive des des signaux induit un certain nombre de traits liés à la composition de l'espace, du médium qu'il traverse, à la gestion du temps - d'où l'intérêt de la description des UST pour donner une signification temporelle au comportement d'un phénomène - aux relations entre l'individu et son environnement.

## 2) Un cycle d'auto-crédation

### a. Faire "effet"

La notion "d'effet" provenant du Répertoire des effets sonores est le fruit d'une rencontre interdisciplinaire entre ingénieurs, architectes, urbanistes, sociologues, philosophes, géographes, ou musicologues qui ont patiemment récolté et étudié les effets sonores au fil des années. Une telle classification tient d'une volonté de posséder un outil de description universel de l'environnement sonore vécu par l'individu. Ils relèvent trois approches à la description d'un environnement sonore. La première : les espaces ouverts et les petits espaces clos ne sont mesurables ni dans l'ensemble de leur composante, ni avec toute la finesse souhaitable. La dimension humaine échappe à toute dimension quantitative – les recherches du MIM sur les UST qui se développaient au même moment avaient les mêmes préoccupations – d'où le besoin de retour des outils "qualitatifs". Ensuite, la structure physique et perceptive des phénomènes sonores induit un certain nombre de traits liés à la composition de l'espace, à la gestion du temps aux relations entre l'individu et son environnement qui sont spécifiques. Il faudrait entreprendre une observation minutieuse et durable appliquée à un seul espace. Et enfin, ils expliquent qu'une démarche d'analyse des phénomènes sonores qui tente d'harmoniser l'usage des outils quantitatifs et des outils qualitatifs est nécessaire, un croisement des différentes méthodes d'analyse<sup>66</sup>.

Des outils tentants ont déjà été mentionnés, mais manquant de pluridisciplinarité dans la description totale de l'environnement sonore : l'objet sonore décrit dans le Traité des objets musicaux de Pierre Schaeffer décrivait un procédé d'analyse trop élémentaire : dès que la séquence sonore observée est un peu complexe ou étalée dans le temps, dès que les conditions de propagation sont prises en compte in situ, la procédure d'analyse devient extrêmement lourde. Le paysage sonore décrit par R. Murray Schafer présentait une description des phénomènes sonores trop floue et discriminante car, en effet, il sélectionne le paysage hi-fi par rapport à celui low-fi et justifie ce choix comme étant un critère de clarté. "Il faut rendre les oreilles claires", dit-il. Or l'application de ce critère vient discréditer un grand nombre de situations urbaines très courantes imprégnées de flou et de brume si ce n'est de vacarme. L'intention pour les auteurs et les chercheurs qui ont contribué au répertoire des effets sonores est de décrire et de désigner l'ensemble des formes sonores perceptibles, comme les stimuli bruyants, les sons musicaux, les sons quelconques, etc.

La notion qui ressort de ces recherches montre un marquage de l'espace habité ou fréquenté, cela mène vers une fréquente production de sens et de valeurs symboliques liées aux perceptions et actions sonores. "Nous étions donc en présence de phénomènes qui ne pouvaient être décrits ni comme de simples réaction à de stimuli, ni comme de simples impressions subjectives, mais qui ressemblaient à des opérations d'ordre esthétique, c'est à dire à des mises en forme, à des configurations localisées et particularisées du donné sonore physique" expliquent les chercheurs<sup>67</sup>. "L'effet", c'est un phénomène relatif à un contexte et à une organisation locale, l'environnement peut être considéré comme un réservoir de possibilités qui donne matière et forme aux relations humaines et à la gestion quotidienne de l'espace urbain. Par rapport au signal physique, c'est une déformation perceptive qui s'opère, une "sélection d'informations et attribution de significations qui vont dépendre des aptitudes neurophysiologiques de l'auditeur, de sa psychologie, de sa culture et de son appartenance sociale"<sup>68</sup>.

Le défi était donc d'observer cet effet, le mesurer et l'analyser par les conditions spatiales de sa

manifestation car l'aménagement de l'environnement, de l'espace façonne directement de nombreux effets sonores. Le contexte spatial est important : le champ, le volume et la forme de l'espace conditionnent. La réverbération par exemple est directement issue des caractéristiques spatiales d'un lieu dans lequel un son va être émis. Alvin Lucier dans sa pièce fortement reconnue retranscrit ces caractéristiques propres à l'espace dans lequel il va la performer : il enregistre sa voix pour l'émettre dans l'espace qui va immédiatement faire réverbérer le signal pour qu'un microphone enregistre ce phénomène d'effet sonore. Il va ensuite émettre ce nouvel enregistrement dans le même endroit pour l'enregistrer et le diffuser une nouvelle fois et ainsi de suite<sup>69</sup>. En faisant cela, il donne une certaine matérialité à l'effet sonore de réverbération et montre que cette déformation du son est spécifique à l'espace dans lequel il est émis.

Le lieu en tant que contexte urbain importe également beaucoup car il offre d'autres possibilités d'information ou d'interprétation. Cela contribue à une production d'effets complexes caractéristiques au milieu urbain. L'effet spatial fait aussi partie intégrante de l'effet sonore : la cause circonstancielle au caractère propre à l'environnement qui conditionne l'écoute. Par exemple, la place de l'auditeur peut fortement influencer la perception d'événement sonore.

L'effet sonore semble recouvrir l'interaction entre l'environnement sonore physique, le milieu sonore d'une communauté socio-culturelle et le paysage sonore interne à chaque individu. Cette définition s'applique logiquement à toute forme de perception bien que certaines circonstances de l'environnement peuvent influencer différemment la perception de la lumière par rapport à celle du son. Mais les effets se rejoignent sur une certaine consistance de nos rapports au monde. Le corps, les sens, les émotions, la perspective d'un espace deviennent alors étroitement liés à notre expérience de celui-ci par tous les moyens possibles. L'effet est une manifestation d'un phénomène qui accompagne l'existence d'un objet se plaçant comme l'intermédiaire avec l'observateur. "Toute perception suppose quelque effet, c'est-à-dire un travail minimal d'interprétation"<sup>70</sup>.

Le répertoire des effets sonores définit plusieurs critères dans sa classification : il y a l'effet de base et ses variantes comme la distorsion ou le filtrage, les effets existants toujours dans l'espace concret ou dans le processus d'écoute comme la réverbération ou la synecdoque - c'est à dire la faculté d'opérer une sélection valorisant l'un ou l'autre élément - et enfin les effets qui participent directement de la nature de l'environnement urbain ou des processus culturels comme l'imitation qui, de manière consciente, provoque une émission produite selon un style de référence de l'individu. Cela a permis de définir les catégories qui englobent les types de rapport entre l'environnement et l'individu reconnues comme outil de recherche important. Il y a la catégorie d'effets élémentaires, c'est-à-dire la matière en elle-même, soit la modalité de propagation où on peut retrouver des effets comme la réverbération, la distorsion, le filtrage. Il y a les effets liés à l'organisation perceptive qui définit les agencements complexes décrits par des caractères remarquables. Ils dépendent du dispositif spatio-temporel de la propagation qui sont sujets à une évaluation physique. S'incluent dedans les effets de masque, de coupure, ou de traînage. Ensuite ce sont les effets psychomoteurs, l'existence d'une action du récepteur ou tout du moins d'une esquisse motrice ou d'un processus faisant interagir perception et motricité pouvant définir des effets d'attraction ou d'enchaînement. Enfin il reste les effets sémantiques sur l'écart de sens entre le contexte donné et la signification émergente, l'imitation ou le décalage en sont de bons exemples. En dernière sous-catégories on retrouve les effets électro-acoustiques comme la compression, le feedback ou le chorus qui définissent des déformations liées spécifiquement à des dispositifs électriques analogiques ou digitales de transfert de l'information.

L'intérêt porté sur cette recherche provient des descriptions complexes et globales de certains effets qui semblent définir plusieurs types de situation dans la transmission d'un signal. Je vous donne une description de l'effet coupure à titre d'exemple : "Chute soudaine d'intensité qui peut être associée à un brusque changement d'enveloppe spectrale ou à une modification de la réverbération (par exemple dans le sens réverbérant / mat). L'effet de coupure est l'un des grands modes d'articulation sonore entre les espaces et les lieux. Il établit clairement le passage d'une ambiance sonore à une autre"<sup>71</sup>. S'ensuit les champs d'application de cet effet dans l'architecture, dans l'urbanisme, dans l'aspect physique, psychologique, sociologique, etc. De telles descriptions de certains effets me laissent penser qu'ils s'appliquent sur n'importe quel signal, dans des situations, des domaines et des circonstances bien diverses.

L'environnement fait résonner l'information qui lui passe dedans, nous faisant résonner à notre tour. Une très belle introduction du livre *Spectre III, Résonances* qui rassemble plusieurs écrits d'artistes sonores autour de ce thème décrit assez bien la notion de faire "effet" : "Le son et son double : renvoyés, réfléchis par des surfaces, diffractés par des angles. Le son amplifié, revêtant une acoustique qui le transforme. Son exalté par un séjour dans un lieu, dans un milieu. Son propagé, tendu vers les lointains. Mais aussi résonner : vibrer avec le son, à l'unisson dans un balancement synchrone. Épouser son allure, amplifier une destinée commune. Unir ses forces. Mais encore, se souvenir, réévoquer le passé, le faire survenir. Ou alors plonger dans le spectre du son, le modeler autour d'une fréquence, faire émerger des montagnes sonores ou électriques dans le devenir des signaux. (...) Si chacun possède sa propre histoire, si chacun résonne à sa façon, nous devons tous, pour éprouver la résonance à un moment donné, être prêts à accueillir"<sup>72</sup>.

## **b. Un échange dans un renouvellement des formes**

Quel serait l'intérêt créatif des effets de résonance dans une transmission entre le créateur, l'information et son environnement médiatique ?

Dans cette même pièce *I am sitting in a room* d'Alvin Lucier, l'accumulation de la réverbération de l'espace de diffusion rend une forme sonore de plus en plus brouillée et distante. A l'inverse de la théorie de l'information de Claude Shannon qui a été développée pour pallier une perturbation dans le signal, l'intention d'Alvin Lucier se porte sur sa perte totale pour observer sa réaction vers de nouvelles formes sonores, sa métamorphose.

C'est avec ce genre de dispositif presque automatique dans le processus dans l'altération de l'objet que s'articule une réflexion de l'artiste Gustav Metzger sur ce qu'il nomme l'art auto-créatif. L'artiste ne distingue pas l'auto-créatif de l'auto-destructif et les cinq manifestes qu'il écrit entre 1959 et 1964 en témoignent. L'autonomie du processus, c'est -à -dire l'œuvre à l'égard de son "créateur", comme sa transformation aléatoire dans la durée, sont deux principes qu'il adopte. "Le processus contre tout essentialisme, fait de toute chose une construction provisoire et inachevée. (...) Nous ne sommes qu'états transitoires et momentanés de flux ininterrompus faits d'emprunts et de mélanges, déterritorialisés." raconte Thierry Raspail sur la théorie de Metzger<sup>73</sup>. L'environnement à cristaux liquides est un exemple typique de sa théorie : présentée pour la première fois en 1966 à Londres, elle montre les effets colorés des cristaux liquides modifiés par la chaleur. Il a pris soin de glisser entre deux lamelles un échantillon de glycérine et d'eau qui est alternativement chauffé puis refroidi au contact de projecteurs qui en diffusent l'image. Celle-ci est à la fois incontrôlable dans ses effets et non maîtrisable dans la durée.

L'activité aléatoire d'un art fait de matériaux en transformation est capable de réaliser non seulement les formes et mouvements les plus complexes mais aussi d'offrir un contenu esthétique de la plus haute importance.

"L'art auto-créatif est l'art du changement, de l'évolution et du mouvement", écrit Metzger dans son troisième manifeste en 1961. Son œuvre est souvent envisagée à travers le prisme de la destruction et de l'Holocauste, un désastre dont l'artiste a lui-même fait l'expérience. Mais loin de minimiser cette période brutale, il est nécessaire de considérer l'ensemble de son œuvre avec le sens de l'Histoire autant que celui du temps présent. Metzger travaille le présent et pose la question du futur meilleur. Ses recherches dans les sciences et l'art l'ont mené à l'art auto-destructif dans lequel il met en valeur ce rapport entre la science et l'art. Déjà en 1961 il déclarait : "L'objectif principal est la création, grâce à l'informatique, d'œuvres d'art dont les mouvements sont programmés et qui intègrent leur propre "autorégulation". Grâce à différents dispositifs électroniques, le spectateur peut influencer directement l'action de ses œuvres"<sup>74</sup>. Cela rejoint le processus de création sonore avec les outils de programmation que j'ai déjà cités, Pure data et Max/msp qui permettent cet échange direct entre la machine et le créateur.

L'art auto-créatif n'est pas figé dans sa forme, il s'inscrit dans un mouvement interne aléatoire dont l'artiste écrit les règles et un protocole à suivre. L'échange esthétique et significatif avec l'artiste s'inscrit dans un renouvellement de la forme constante imposé par le matériau, la technique, le médium qu'il va utiliser.

Un bol d'océan est une pièce sonore de Tomoko Sauvage qui use de la pratique de sonorisation hydrophonique dans l'eau favorisant les oscillations et accélère le rythme de feed-back. En touchant la surface de l'eau pour faire des vagues, il intensifie les sons du feed-back, il fait tomber des gouttes d'eau pour faire résonner le bol. "Je vois et j'entends une masse d'eau sculptée par ma main, qui change de forme et flotte dans l'air comme dans un nuage. Le tactile devient auditif"<sup>75</sup>. Dans ce dispositif assez simple, il crée une communication quasiment intime avec son médium qui est l'eau, il essaye d'en contrôler les frontières mais elle reste un élément chaotique qui l'oblige à s'adapter à elle pour formuler des sons nouveaux et complexes.

Quand on connaît les implications entre effet sur l'objet en lui-même et effet sur l'interprétation de l'individu, il est logique d'y voir un échange significatif se former entre la forme qui se détériore, qui se métamorphose dans un mouvement auto-perpétué et l'artiste, n'ayant aucun contrôle sur elle qui peut lui soumettre d'autres perturbations chaotiques. C'est pourquoi le mot résonance possède sa place pour définir ce dialogue : il évoque un phénomène d'interdépendance dans lequel, à parts égales, l'environnement, l'artiste et l'objet s'influencent en permanence. Jean-Luc Nancy, philosophe dans *Spectre II, résonances*, dit : "La résonance est le battement d'un espace-temps à travers et autour d'un corps. Non seulement une vibration qui me parvient mais une oscillation du monde à moi et de moi au monde par laquelle les deux ont lieu. C'est peut-être pourquoi l'enfant crie à la naissance, répondant ainsi aux sons qui lui sont parvenus à l'intérieur de sa mère"<sup>76</sup>.

# CONCLUSION

Le signal est omniprésent, depuis sa perception initiale jusqu'à l'organisation complexe d'un environnement médiatisé. Bien que nous ne sachions pas exactement où il se brise, se courbe, se déconnecte ou se rassemble, nous nous efforçons de le comprendre dans le but utopique de le maîtriser.

En explorant diverses manières de le décrire et de le formuler, de nouvelles perspectives d'appréhension se dessinent devant nous.

D'abord, les premières classifications typo-morphologiques de Pierre Schaeffer et leur interprétation par les Unités Sémiotiques Temporelles du MIM offrent deux formulations, quantitatives et qualitatives, pour décrire un objet, qu'il soit simple ou complexe. Ensuite, il s'agit de comprendre comment ces éléments s'agencent dans un espace chaotique, soumis à des transformations à chaque instant. C'est R. Murray Schafer et sa conception du paysage sonore qui donna la première définition de l'environnement sonore pour que les chercheurs qui ont écrit le Répertoire des effets sonores permettent une compréhension universelle du "faire effet", de la résonance.

La prise de conscience des interactions intimes entre le signal, l'individu et leur environnement permet l'émergence d'un processus de création cyclique favorisant le renouvellement des formes. Le signal émis, inévitablement affecté par le bruit du médium qu'il traverse, exige de l'artiste une réponse basée sur son interprétation de ce qu'il perçoit. Les variables de ce processus évoluent constamment, rendant la communication chaotique et représentative des médiums de son environnement.

Entre destruction, création et un art produit de manière mécanique, cet art auto-créatif, qui se génère à lui-même une fois initié par l'artiste, illustre la relation dynamique entre une oeuvre en perpétuelle expansion, son exposition en permanent devenir et son créateur obéissant autant aux mêmes règles d'auto-destruction.

# BIBLIOGRAPHIE

1. KARKOWSKI, Zbigniew. Physiques sonores. Van Diëren Editeur. 2008. 23 p.
2. LUYAT, Marion. La perception. Les Topos, 2014. 17 p.
3. SHANNON, Claude. A mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal, octobre 1948, vol. 27, n°4
4. MEDIUM : définition de MEDIUM. Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. 2012 [16.04.2025]. <https://www.cnrtl.fr/definition/m%C3%Agdium>
5. Plateau radio, journées thématiques Antiatlas des Frontières - Ecouter, du corps à l'environnement. Locus Sonus Vitae, ESAAIX. 19 mars 2024 [16.04.2025]. <https://locusonus.org/vitae/index.php?page=ECOUTER%3A+DU+CORPS+A+L%2%80%99ENVIRONNEMENT.fr&redirect=no>
6. LUYAT, Marion. La perception. Les Topos, 2014.
7. PEIRCE, Charles Sanders. Selected philosophical writings. Vol. 2 (1893-1913). The Peirce Edition Project, 1998. 10 p.
8. ECO, Umberto. Le signe. Le Livre de Poche, 1992. 11 p.
9. ECO, Umberto. Le signe. Le Livre de Poche, 1992. 33 p.
10. GIBSON, James Jerome. Approche écologique de la perception visuelle. Editions Dehors, 2014.
11. VOGEL, Corsin. Un art sonore situé : le sens de l'espace. OpenEdition Journals. Etnográfica, 2013, Vol. 17, n°3 [16.04.2025]. <https://journals.openedition.org/etnografica/3260?lang=en>
12. ECO, Umberto. Le signe. Le Livre de Poche, 1992. 49 p.
13. SINCLAIR, Peter. L'art de la sonnification en temps réel. Locus Sonus Audio in Art, 2012 [16.04.2025]. [https://locusonus.org/publi/2012\\_SINCLAIR\\_ArtdeLaSonification\\_OBSin.pdf](https://locusonus.org/publi/2012_SINCLAIR_ArtdeLaSonification_OBSin.pdf)
14. SCHAFER, Ray Murray. Le paysage sonore : le monde comme musique. Editions Wildproject. 2010. 141 p.
15. GOLDSMITH, Mike. Les ondes. Edp Sciences. 2023. 8 p.
16. Onde. Wikipédia. 15 mars 2025 [16.04.2025]. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Onde>
17. LeGrosBesson. Les aventures de l'énergie, 4ème épisode : le mystère de l'Ambre Jaune. Youtube, 24 mai 2011 [16.04.2025]. <https://www.youtube.com/watch?v=voA6gDPXqUs>
18. GOLDSMITH, Mike. Les ondes. Edp Sciences. 2023. 103 p.
19. GOLDSMITH, Mike. Les ondes. Edp Sciences. 2023. 78 p.
20. PRIEMER, Roland. Introductory signal processing. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 1991. 1 p.
21. SMITH, Steven William. The scientist and engineer's guide to digital signal processing. California Technical Publishing, 1999. 1 p.
22. SMITH, Steven William. The scientist and engineer's guide to digital signal processing. California Technical Publishing, 1999. 141 p.
23. LOSTANLEN, Vincent. ANDEN, Joakim. LAGRANGE, Mathieu. Fourier at the heart of computer music : from harmonic sound to texture. Comptes Rendus. Physique, Fourier and the science of today, 2019. Vol. 20, n°5. pp. 461-473.
24. COLLECTIF, Collectif. Spectre III : fantôme dans la machine. Shelter Press. 2021. 60 p.
25. LOSTANLEN, Vincent. On time-frequency scattering and computer music. FAVN. 2020.
26. SCHAFER, Ray Murray. Le paysage sonore : le monde comme musique. Editions Wildproject. 2010. 185 p.
27. SCHAFER, Ray Murray. Le paysage sonore : le monde comme musique. Editions Wildproject. 2010. 187 p.
28. PERICH, Tristan. 1-Bit symphony. Bandcamp. 23 mars 2015 [16.04.2025]. <https://tristanperich.bandcamp.com/album/1-bit-symphony>
29. Tears Of Joy. Zbigniew Karkowski – Hear. Youtube, 20 décembre 2018 [16.04.2025]. [https://www.youtube.com/watch?v=hqq\\_luDmud8](https://www.youtube.com/watch?v=hqq_luDmud8)
30. Synchrotron SOLEIL. Histoire de la lumière : Ondes et photons. Youtube, 3 juillet 2013 [16.04.2025]. <https://www.youtube.com/watch?v=L5B3frVR8LM>
31. SCHAEFFER, Pierre. A la recherche d'une musique concrète. Seuil, 1952. 35 p.
32. KARKOWSKI, Zbigniew. Physiques sonores. Van Diëren Editeur. 2008. 52 p.
33. PRIEMER, Roland. Introductory signal processing. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 1991. 2 p.
34. FFT [en ligne]. NTI Audio AG. [16/04/2025]. <https://www.nti-audio.com/en/support/know-how/fast-fourier-transform-fft>
35. SCHAEFFER, Pierre. Traité des objets musicaux. Seuil, 1966. 20 p.
36. SCHAFER, Ray Murray. Le paysage sonore : le monde comme musique. Editions Wildproject. 2010. 188 p.
37. SCHAEFFER, Pierre. Traité des objets musicaux. Seuil, 1966. 22 p.
38. Lire Freud... Ecouter Freud | Corsin Vogel [en ligne]. Corsin Vogel. 2017, 2024 [16.04.2025]. <http://www.corsinvogel.com/installations/lire-freud-ecouter-freud/>
39. SCHAEFFER, Pierre. Traité des objets musicaux. Seuil, 1966. 19 p.
40. SCHAEFFER, Pierre. Traité des objets musicaux. Seuil, 1966. 397 p.
41. SCHAEFFER, Pierre. Traité des objets musicaux. Seuil, 1966. 400 p.
42. SCHAEFFER, Pierre. A la recherche d'une musique concrète. Seuil, 1952. 224 p.
43. SCHAEFFER, Pierre. Traité des objets musicaux. Seuil, 1966. 269 p.
44. Les UST

- <sup>45</sup>. Les UST
- <sup>46</sup>. Les UST – MiM [en ligne]. Laboratoire Musique et Informatique de Marseille (MiM). [16.04.2025]. <http://www.labo-mim.org/site/index.php?2008/08/11/24-les-ust>
- <sup>47</sup>. En suspension – MiM [en ligne]. Laboratoire Musique et Informatique de Marseille (MiM). [16.04.2025]. <http://www.labo-mim.org/site/index.php?2008/08/22/40-en-suspension>
- <sup>48</sup>. Les UST vues par Jacques Mandelbrodt – MiM [en ligne]. Laboratoire Musique et Informatique de Marseille (MiM). [16.04.2025]. <http://www.labo-mim.org/site/index.php?2012/12/01/218-les-ust-visuelles>
- <sup>49</sup>. Les UST
- <sup>50</sup>. Les UST
- <sup>51</sup>. SHANNON, Claude Elwood. A mathematical theory of communication. Harvard Mathematic Department [en ligne]. The Bell System Technical Journal , 1948. Vol. 27, pp. 379-423, 623-656 [16.04.2025]. 19 p. <https://people.math.harvard.edu/~ctm/home/text/others/shannon/entropy/entropy.pdf>
- <sup>52</sup>. SHANNON, Claude Elwood. A mathematical theory of communication. Harvard Mathematic Department [en ligne]. The Bell System Technical Journal , 1948. Vol. 27, pp. 379-423, 623-656 [16.04.2025]. 22 p. <https://people.math.harvard.edu/~ctm/home/text/others/shannon/entropy/entropy.pdf>
- <sup>53</sup>. THE PIRATE CINEMA – A CINEMATIC COLLAGE GENERATED BY P2P USERS [en ligne]. Disnovation.org [16.04.2025]. <https://disnovation.org/the-pirate-cinema/installation/>
- <sup>54</sup>. SHANNON, Claude Elwood. A mathematical theory of communication. Harvard Mathematic Department [en ligne]. The Bell System Technical Journal , 1948. Vol. 27, pp. 379-423, 623-656 [16.04.2025]. 2 p. <https://people.math.harvard.edu/~ctm/home/text/others/shannon/entropy/entropy.pdf>
- <sup>55</sup>. SCHAFER, Ray Murray. Le paysage sonore : le monde comme musique. Editions Wildproject. 2010. 266 p.
- <sup>56</sup>. SCHAFER, Ray Murray. Le paysage sonore : le monde comme musique. Editions Wildproject. 2010. 278 p.
- <sup>57</sup>. Arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses [en ligne]. Ministère de l'Aménagement du territoire et de la Décentralisation, Ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche, 15 octobre 2019, 25 novembre 2020 [16.04.2025]. <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/arrete-du-27-decembre-2018-relatif-prevention-reduction-limitation-nuisances>
- <sup>58</sup>. SCHAFER, Ray Murray. Le paysage sonore : le monde comme musique. Editions Wildproject. 2010. 271 p.
- <sup>59</sup>. SCHAFER, Ray Murray. Le paysage sonore : le monde comme musique. Editions Wildproject. 2010. 150 p.
- <sup>60</sup>. Radio Fischli Weiss | ΠNode [en ligne]. ΠNode, [16.04.2025]. <https://p-node.org/works/artworks/radio-fischli-weiss>
- <sup>61</sup>. MCLUHAN, Herbert Marshall, FIORE, Quentin, AGEL, Jerome. The medium is the massage, : an inventory of effects. Gingko Press, 2001. 10 p.
- <sup>62</sup>. Goethe-Institut Russland. Electrical Walks – Christina Kubisch / deutsch. Youtube, 31 mai 2016 [16.04.2025]. <https://www.youtube.com/watch?v=5tCphr8pbFka>
- <sup>63</sup>. MCLUHAN, Herbert Marshall, FIORE, Quentin, AGEL, Jerome. The medium is the massage, : an inventory of effects. Gingko Press, 2001. 63 p.
- <sup>64</sup>. MCLUHAN, Herbert Marshall, FIORE, Quentin, AGEL, Jerome. The medium is the massage, : an inventory of effects. Gingko Press, 2001. 26 p.
- <sup>65</sup>. AUGOYARD, Jean-François, TORGUE, Henry. A l'écoute de l'environnement : répertoire des effets sonores. Parenthèses Editions, 1995. 11 p.
- <sup>66</sup>. AUGOYARD, Jean-François, TORGUE, Henry. A l'écoute de l'environnement : répertoire des effets sonores. Parenthèses Editions, 1995. 6 p.
- <sup>67</sup>. AUGOYARD, Jean-François, TORGUE, Henry. A l'écoute de l'environnement : répertoire des effets sonores. Parenthèses Editions, 1995. 8 p.
- <sup>68</sup>. AUGOYARD, Jean-François, TORGUE, Henry. A l'écoute de l'environnement : répertoire des effets sonores. Parenthèses Editions, 1995. 9 p.
- <sup>69</sup>. TrilobiteJuice. Alvin Lucier – I Am Sitting In A Room. Youtube, 24 janvier 2012 [16.04.2025]. <https://www.youtube.com/watch?v=fAxHILK3OyK>
- <sup>70</sup>. AUGOYARD, Jean-François, TORGUE, Henry. A l'écoute de l'environnement : répertoire des effets sonores. Parenthèses Editions, 1995. 11 p.
- <sup>71</sup>. AUGOYARD, Jean-François, TORGUE, Henry. A l'écoute de l'environnement : répertoire des effets sonores. Parenthèses Editions, 1995. 38 p.
- <sup>72</sup>. COLLECTIF, Collectif. Spectre II : résonance. Shelter Press. 2020. 9 p.
- <sup>73</sup>. COPELAND, Mathieu. Gustave Metzger : auto-créatif art. Mathieu Copeland Editions, 2013. 4 p.
- <sup>74</sup>. COPELAND, Mathieu. Gustave Metzger : auto-créatif art. Mathieu Copeland Editions, 2013. 11 p.
- <sup>75</sup>. COLLECTIF, Collectif. Spectre II : résonance. Shelter Press. 2020. 19 p.
- <sup>76</sup>. COLLECTIF, Collectif. Spectre II : résonance. Shelter Press. 2020. 16 p.