

Robert BENZ
Conception Sonore

Un théâtre de robots entre ombre et lumière

A LA RECHERCHE D'UNE IDENTITÉ SONORE

MÉMOIRE DE MASTER DES ARTS ET TECHNIQUES DU THÉÂTRE



ENSATT 2016-2017

BENZ Robert

Conception sonore

ENSATT 2016 – 2017

Promotion Jalila BACCAR – Fadhel JAIBI

MÉMOIRE DE MASTER des ARTS et TECHNIQUES du THÉÂTRE

Un théâtre de robots entre ombre et lumière

A la recherche d'une identité sonore

Tuteur : Clément-Marie MATHIEU

Responsable de filière : Maria CASTRO

Coordinatrice des mémoires : Mireille LOSCO LENA

MEMOIRE DE MASTER

Titre :

Auteur : Robert BENZ

Année : 2016 – 2017

Filière : Conception sonore

Tuteur du mémoire : Clément-Marie MATHIEU

Coordinatrice des mémoires : Mireille LOSCO LENA

Je soussigné(e) Robert BENZ,

- Certifie la conformité de la version électronique avec l'exemplaire officiel remis au jury,
- M'engage à transmettre à la bibliothèque une version finalisée si le jury exige des corrections,
- Certifie que mon mémoire ne comporte pas de documents non libres de droit **ou** joins une table des illustrations, avec la référence précise (page, numéro ou description de la figure...) des documents figurant dans mon mémoire pour lesquels il n'y a pas d'autorisation de diffusion.
- Autorise la consultation* de mon mémoire à la bibliothèque de l'ENSATT par des personnes extérieures, sa copie en version numérique et sa diffusion par prêt entre bibliothèques (PEB).

A Lyon, le

Signature de l'étudiant(e)

Mémoire consultable par des personnes extérieures à l'ENSATT

☐ OUI ☐ NON

jury

Signature du Président(e) du

*Etant entendu que les éventuelles restrictions de diffusion de mes travaux ne s'étendent pas à leur signalement dans le catalogue de la bibliothèque, accessible sur place ou par les réseaux, ni à leur consultation sur place, ni à leur diffusion par Prêt entre Bibliothèques (PEB) ou sur le réseau intranet de l'ENSATT.
En cas de diffusion du mémoire mentionné ci-dessus selon les conditions précitées, l'ENSATT s'engage à respecter le droit moral de l'auteur sur le mémoire.

Résumé :

Ce mémoire a pour but de retracer le cheminement d'une recherche autour de l'objet robot. Il questionne l'intérêt de sa potentielle autonomie sur un plateau. Puis il réfléchit à une identité sonore autonome qui définit cet objet, jusqu'à l'élaboration d'une forme artistique au croisement de l'art des ombres, du théâtre d'objet et du cinéma d'animation.

Mots-clés : ROBOTIQUE – OMBRE – AUTONOMIE

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	10
Chapitre 1 - LA ROBOTIQUE, MON POINT DE DÉPART	12
1.1. Petite histoire des créatures artificielles	12
1.2. Un robot, qu'est-ce que c'est ?	16
1.2.1 Des robots autour de nous	16
1.2.2 Les robots dans le spectacle vivant	18
1.3. L'imaginaire autour du robot.	20
1.4. Une marionnette technologique fascinante et touchante	24
1.4.1. Des robots Instrumentistes et Danseurs	24
1.4.2. Un personnage robot vivant par le son	26
1.4.3. Des marionnettes high-tech	28
1.5. Quel son pour une machine en mouvement ?	29
1.6. Une interface de contrôle pour la création orienté objet	30
1.6.1 Principe	30
1.6.2 L'expérience de la lampe-robot	31
1.7. À la recherche d'une autonomie	34
1.7.1. Première expérience	34
1.7.2. Le Laboratoire de l'Inquiétante Étrangeté	35
1.7.3. Pourquoi garder une réelle autonomie ?	37
1.7.4 Une autre approche de l'autonomie par l'aléatoire	38
1.7.5 Expérience <i>Essais 2016</i> , le Cyclope	40

Chapitre 2 - UN THÉÂTRE D'OBJETS SONORE ENTRE OMBRE ET LUMIÈRE	42
2.1. Atelier son-écriture	42
2.1.1 L'idée	42
2.1.2 L'imaginaire lié à l'objet	44
2.1.3 Les ombres projetées	46
2.2. Un théâtre d'ombres	48
2.3. Un théâtre d'objet	52
2.4. Du micro-monde à l'immersion	54
2.5. Le micro-monde sonore de la maquette	59
2.6. Les monde sonore des ombres	62
2.7. Le bras-robot Ergo-Jr	65
2.8. Travail dramaturgique	67
CONCLUSION	70
ANNEXES	73
Annexe 1 : Contrôle de leds	74
Annexe 2 : Contrôle Ergo-Jr	75
Annexe 3 : Entretien avec Aurélien Bory	76
Annexe 4 : Entretien avec Christian Laroche	78
TABLES DES ILLUSTRATIONS	80
BIBLIOGRAPHIE	82
INDEX	86
REMERCIEMENTS	89

Introduction

Ce mémoire est l'occasion d'élucider certaines interrogations qui m'accompagnent depuis un long moment. Comme beaucoup de jeunes bacheliers, au moment venu de faire des choix d'orientation, j'étais quelque peu perplexe entre les noms des formations qui mériteraient une description et les grandes villes inconnues. J'étais déjà fasciné par la science et l'électronique qui m'ont amené à poursuivre mes études à Lyon avec un DUT en génie électrique et informatique industrielle. Un long nom de filière qui, dans sa pratique, consiste à étudier l'électricité à toutes les puissances, de la centrale électrique jusqu'aux petites cartes informatiques, et à étudier les processus de commande de toutes sortes de machines électriques de plus en plus présentes dans l'industrie et dans nos vies. Je suis fasciné par ces objets qui font partie de notre quotidien et que nous considérons comme banals même si nous en ignorons le fonctionnement. Avec l'électricité, tout a l'air de fonctionner par magie. Il me suffit d'appuyer sur le numéro 12 pour que la petite pièce que l'on appelle ascenseur dans laquelle je me trouve se mette à monter et s'ouvre sur le douzième étage de la tour Oxygène. Il me suffit de poser le doigt sur un écran et de parler dans un bout de plastique pour entendre la voix de ma grande tante australienne me répondre. Savoir comment cette magie fonctionne me passionne, c'est ce qui m'a amené à la fin de mon IUT à me spécialiser en robotique. Le robot est encore plus mystérieux car il ne s'agit pas, comme pour l'ascenseur ou le téléphone, d'une action produite sur l'objet déclenchant une « simple » réaction, le robot suit un comportement complexe que l'on a programmé et qui agira en fonction de l'environnement extérieur rencontré.

Ce mémoire de recherche est l'occasion de faire surgir cette passion pour les robots dans mon travail de recherche théâtral. Ce travail est le compte rendu d'une réflexion que j'ai menée depuis ma première année de master jusqu'à la fin de ma deuxième année et qui aboutira à une forme artistique lors de la soutenance de ce mémoire. Mon travail de réflexion est intimement lié à la pratique, à des expérimentations que j'ai menées lors de ces deux dernières années de formation. Ce mémoire se veut parfois journal d'expérimentations, de création, parfois témoignage d'une pratique ou il propose parfois un petit voyage à travers l'histoire pour suivre au plus près le chemin que j'ai emprunté au cours de cette recherche.

Le point de départ de cette aventure est l'objet robot. J'avais envie de questionner ma pratique du théâtre et du son en particulier à travers l'utilisation de cet objet. Mon point de départ est

volontairement un questionnement qui n'est pas uniquement sonore. En agissant de la sorte, je laisse la possibilité à toutes les composantes de l'outil théâtre d'entrer en jeu au même titre que le son.

« Le théâtre est lui-même fait de plusieurs médias interagissant les uns avec les autres – la musique, la scénographie, les pratiques plastiques, la danse et la gestuelle, la dramaturgie, etc. – , comme interagissent les différents éléments qui composent la page web. »¹

Il ne s'agit pas ici de réduire le théâtre à une page web, mais de noter l'importance de la communication entre ces médias qui la constituent. J'ai l'impression que l'interaction entre les médias qui forment le théâtre est essentielle, que tout se joue dans les relations que ces médias entretiennent entre eux. De ce fait, ma recherche m'a incité à me poser des questions scénographiques, de mouvement, de lumière, de son, de dramaturgie... Ce mémoire est à l'image de cette pluralité de savoir-faire mêmes s'il accorde une place centrale aux enjeux sonores et aux dispositifs que j'ai développés.

1 - LARRUE, Jean-Marc (dir.), *Théâtre et intermédialité*, Villeneuve d'Ascq, Presses universitaires du Septentrion, 2016, p. 40.

Chapitre 1 – La Robotique, mon point de départ

Ayant vivement ressenti l'envie dans mes recherches de m'intéresser à l'objet robot, je me suis plongé dans l'univers des créatures artificielles à travers l'histoire de ces objets particuliers depuis l'aube de la société humaine. Pour l'élaboration de ce voyage à travers les âges, je me suis principalement basé sur l'œuvre de Jean-Claude HEUDIN, *Les créatures artificielles*², accompagnée d'autres lectures, d'écoutes et de mes connaissances personnelles.

1.1 Petite histoire des créatures artificielles

La robotique est une science toute récente qui puise néanmoins ses sources dans des temps ancestraux. Depuis les Golems dans la tradition juive en passant par les automates horlogers du siècle des Lumières, l'objet animé fascine, effraie et questionne l'homme sur sa propre existence.

« Il y a environ trois millions d'années, l'une des toutes premières révélations de l'homme issu du berceau africain a été de saisir son reflet à la surface de l'eau. Depuis cet instant, nous essayons toujours de comprendre la nature humaine et de lui donner un sens. La quête d'une altérité artificielle a donc probablement commencé dès l'aube de l'humanité. Il est quasiment impossible de situer précisément les premières tentatives humaines de reproduction de la nature sous la forme de fresques ou de statuettes. Elles remonteraient à l'apparition d'Homo sapiens, il y a quelque cent mille ans, mais il est possible qu'Homo habilis ou l'un de ses prédécesseurs ait aussi, à sa manière, éprouvé le besoin de représenter le vivant sous une forme encore plus primitive. L'éclat d'un cristal de silex grossièrement taillé, l'os d'une proie transformé en outil sont à l'origine de l'évolution qui nous conduira jusqu'aux robots et aux intelligences artificielles. »³

Comme l'écrit Jean-Claude HEUDIN la notion de créatures artificielles est présente chez l'homme depuis des temps immémoriaux. La création d'un alter-ego artificiel est dans un premier temps présente dans les contes et légendes comme la légende du Golem de glaise ou de Prométhée et Pandore. Dans tous les cas, il s'agit d'une représentation inerte créée par l'homme qui prend vie par un processus magique de nature divine la plupart du temps. On retrouvera ce principe plus tard dans la littérature du XIX^{ème} siècle avec le roman *Frankenstein*⁴ de Mary Shelley où la créature artificielle composée de restes humains prend vie grâce à la magie de l'époque : l'électricité. Depuis

2 - HEUDIN, Jean-Claude, *Les créatures artificielles : des automates aux mondes virtuels*, Paris, O. Jacob, 2007.

3 - *Ibid*, p. 17.

4 - SHELLEY, Mary Wollstonecraft, *Frankenstein, ou le Prométhée moderne*, Paris, J'ai lu, 1993.

la Grèce antique jusqu'au siècle des Lumières, la religion considère la création de telles créatures comme une offense au pouvoir créateur des dieux. On retrouve dans de nombreux récits une sanction divine réprimant une telle création. Prométhée sera puni par Zeus par une torture éternelle, la créature de Frankenstein se retourne contre son créateur. Parfois le créateur se repent mais subit néanmoins un châtement divin. « Tu ne feras aucune image sculptée, rien qui ressemble à ce qui est dans les cieux, là-haut, ou sur terre, ici-bas, ou dans les eaux, au-dessous de la terre »⁵.

« En fait, c'est toute reproduction fondée sur la ressemblance de ce qui existe qui pourrait être considérée comme une "copie illégale" d'une "œuvre originale" créée par Dieu. »⁶

« Histoire de Descartes et Francine.

En 1640, Descartes perd sa fille prématurément alors âgée de 5 ans. Il entre dans un profond chagrin et décide de fabriquer un automate à l'image de sa fille pour se consoler de sa mort. L'histoire nous raconte qu'un jour alors qu'il naviguait, au plus fort d'une tempête, le capitaine tombe sur l'automate que Descartes avait caché à bord. Horrifié et voulant éviter toute punition divine, il ordonne de jeter l'automate par-dessus bord. »⁷

Avec l'apparition des premiers automates, on remarque que leur utilisation oscille entre objet technologique utilitaire, objet de démonstration scientifique ou œuvre d'art. La création des automates arrive avec la volonté de contrôler le temps. Avant l'invention de la mécanique horlogère, le mathématicien grec Ctésibios d'Alexandrie invente au III^{ème} siècle av. J.-C. la clepsydre, une horloge à eau. Grâce à cette technologie, on voit apparaître à cette époque les premiers automates. Il s'agit d'installations techniques visant à démontrer des principes hydrauliques et qui fascinent par leur autonomie. On peut découvrir dans un ouvrage de Héron d'Alexandrie :

« le *Pneumatica*, un grand nombre de 'jouets' mécaniques comprenant des oiseaux capables de chanter, des trompettes qui sonnent sans intervention humaine, des objets qui se déplacent quand on allume un feu, des statues d'animaux articulées qui se mettent à boire. »⁸

On retrouve ces principes d'automates hydrauliques ou utilisant des systèmes de mécaniques simples avec poulies et contrepoids pendant le Moyen Âge en Orient - qui fut l'âge d'or des automates arabes - jusque dans des grottes ou des jardins européens aménagés par les ingénieurs du XVI^{ème} siècle.

5 - Exode XX 4a.

6 - HEUDIN, Jean-Claude, *op. cit.*, p. 34.

7 - *Ibid*, p. 51.

8 - Héron d'Alexandrie cité par HEUDIN, Jean-Claude, *ibid.*, p. 40.

C'est pendant le siècle des Lumières que la pensée matérialiste et que la mécanique horlogère, haute technologie de l'époque, se rencontrent et poussent la notion d'automatisme encore plus loin. Les comportements des automates sont alors programmés par un système mécanique de cylindres sur lequel des petites piques viennent enclencher des touches qui provoquent différents mouvements. On voit apparaître des automates qui ont vocation à démontrer que l'homme est une machine, certes complexe, mais qui obéit à une mécanique spécifique. À l'instar des dissections organisées pour le collège scientifique, Jacques de Vaucanson imagine des automates mécaniques qui reproduisent des spécificités humaines. Le célèbre « canard de Vaucanson » est un automate en forme de canard qui picore des graines, puis les digère grâce à un mécanisme complexe jusqu'à expulser des excréments. On voit apparaître des automates écrivains, dessinateurs qui reproduisent toutes sortes de comportements humains, même ceux jusque-là spécifiques à l'homme.

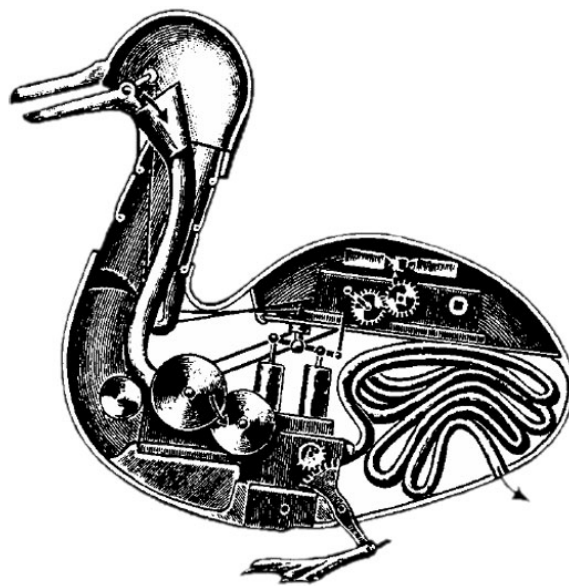


Figure 1 : Schéma hypothétique de l'appareil digestif du canard de Vaucanson par un spectateur américain

Ces démonstrations de la pensée matérialiste sont un acte à la fois philosophique et spectaculaire. Il est intéressant de constater comment l'intérêt pour les créatures artificielles réunit un questionnement philosophique ancestral sur notre propre existence et celle de l'autre, et une technologie de pointe. La technologie évolue de la mécanique hydraulique élémentaire à la précision de la mécanique horlogère et aujourd'hui avec l'électronique. On parle dorénavant de robots, mais les questionnements et la fascination restent les mêmes depuis l'Antiquité. Par la suite,

les automates vont quitter le rang d'objet de démonstration scientifique ou d'outil de précision servant à indiquer le temps pour arriver dans le monde du spectacle vivant. On voit apparaître de plus en plus d'automates de spectacles au début du XIX^{ème} siècle. Ces représentations jouent beaucoup sur la magie et la fascination que provoquent ces objets sur du public.

Au XX^{ème} siècle, avec l'électricité, l'électronique puis l'informatique, on entre dans une nouvelle ère de la créature artificielle. On retrouve les mêmes étapes que pour les automates quant à l'utilisation de cette nouvelle technologie. Elle est d'abord vouée à des fins industrielles et de contrôle, non plus seulement du temps mais de la production à grande échelle. La robotique prend place ensuite dans des salons d'exhibition scientifique puis dans l'industrie, dans nos maisons et sur scène.

1.2 Un robot, qu'est-ce que c'est ?

Avant de commencer à réfléchir sur leur place dans une forme artistique, il convient de définir ce qu'est un « Robot » car ce terme, inventé et employé pour la première fois au théâtre dans la pièce de Karel Capek *RUR - Rossum's Universal Robots*⁹ – en 1920 est utilisé pour nommer différentes choses et fait appel à un imaginaire de science-fiction large et flou.

1.2.1 Des robots autour de nous

Lors du 8^{ème} festival « Science et manga » organisé par l'université Claude Bernard Lyon 1 du 14 février au 1^{er} avril 2017, j'ai pu assister à la conférence « Les robots au travail : œuvrer avec les hommes ou à leur place ». Catherine Simon, organisatrice du salon Innorobo¹⁰ a présenté la place occupée par les robots aujourd'hui. Un robot est un système composé de trois éléments, des capteurs qui mesurent différents paramètres de son environnement, un processus qui analyse ces données et opère différents algorithmes de traitement et des actionneurs qui ont une action physique sur le monde. On les retrouve évidemment dans l'industrie qui fut l'un des premiers secteurs à utiliser des robots par souci de rentabilité et de précision sous la forme de bras robots, de robots collaboratifs destinés à travailler dans l'industrie en collaboration avec les employés ou encore des robots que l'on appelle des « wearable robots », destinés à être portés pour décupler la force humaine par exemple. Des robots spécifiques sont créés pour des tâches extérieures comme une exploration en milieu sous-marin, là où l'homme ne peut aller physiquement à cause des conditions extrêmes de pression et de température. Dans l'agriculture, on se penche sur la robotisation des plantations pour la rendre plus intelligente. Contrairement à la démarche industrielle, il s'agit ici de contrôler à l'aide de capteurs les besoins des plantes au cas par cas, pour leur apporter la juste quantité d'eau nécessaire. Dans le secteur médical, la précision des robots est utilisée pour assister une opération, un processus de rééducation, servir de prothèse ou agir directement dans le corps humain avec des nanorobots. Dans les maisons, les robots sont présents pour effectuer certaines tâches ménagères, on peut y voir un robot aspirateur, tondeuse ou laveur de vitres. La domotique est en soi un système robotisé, équipé de capteurs et capable d'effectuer des actions sur l'environnement de la maison.

9 - ČAPEK, Karel, *RUR : Rossum's universal robots*, trad. Jan Rubeš, Paris, La différence, 2011.

10 - Salon français annuel dédié à la robotique.

On commence à concevoir des robots pensés pour effectuer des actions sociales comme le robot « Pepper » présent sur le Festival. Dans la ville, les robots sont désormais présents, utilisés pour la sécurité, la gestion de l'énergie comme certains lampadaires qui captent la luminosité ambiante pour calculer leur temps d'éclairage nécessaire. De nombreuses voitures aujourd'hui sont équipées de capteurs qui aident à la conduite, ce qui en fait dans un sens des objets robotisés qui le seront davantage avec l'arrivée sur nos routes des premières voitures autonomes. Pour accompagner cette robotisation généralisée, le système éducatif a besoin de former des personnes capables de comprendre le fonctionnement de ces objets particuliers. On voit donc apparaître des robots spécialement destinés à l'apprentissage de ces nouvelles technologies. De l'école primaire jusque dans les écoles d'ingénieur, on voit apparaître des robots uniquement conçus pour permettre aux élèves d'appréhender ces nouveaux objets.

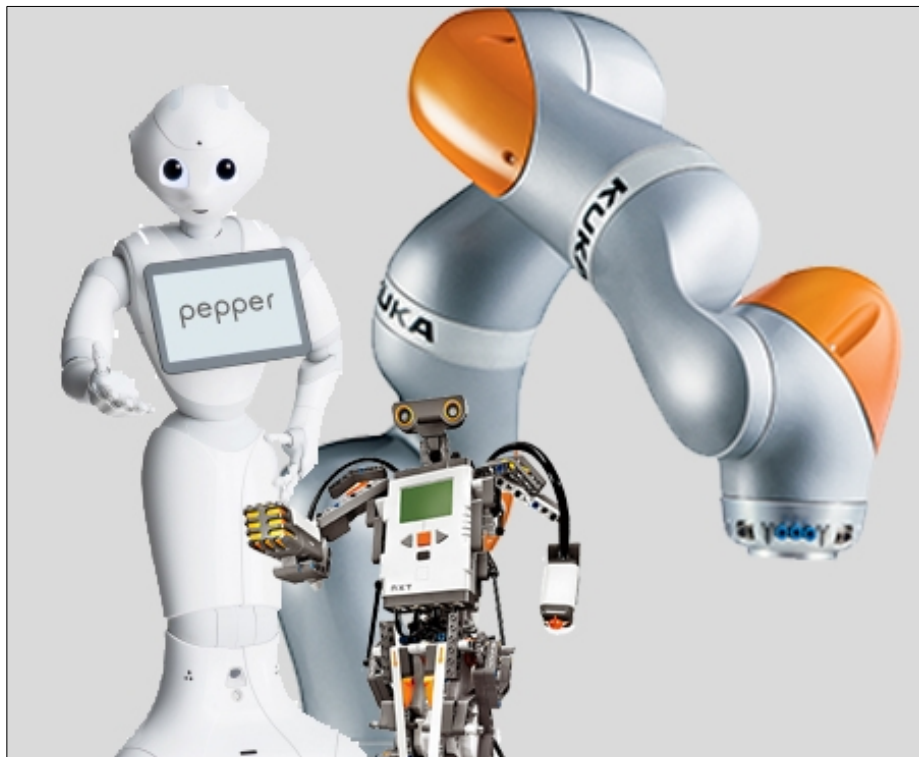


Figure 2, 3 & 4 : Bras robot industriel (droite), Robot Pepper (gauche), Robot Lego Mindstorm (centre)

1.2.2 Les robots dans le spectacle vivant

Considérant cette liste non exhaustive du paysage robotique grandissant dans notre société, je m'interroge sur la place de ces objets particuliers qui fascinent - parfois considérés comme une potentielle menace, parfois comme collègues de travail ou compagnons éducatifs - dans les arts vivants.

La conférence « Le théâtre et les robots »¹¹ du 9 février 2010 à l'ENS de Lyon avec Oriza Hirata et Franck Bauchard rend éminemment compte des différentes grandes familles de robots actuellement utilisés dans le spectacle vivant. Oriza Hirata¹² travaille sur la ressemblance comportementale entre un homme et un robot humanoïde. Au niveau de la commande et de la programmation, ils sont semblables à des marionnettes high-tech. Hirata programme leurs mouvements de manière linéaire et les dirige comme des acteurs pour leur donner une existence propre, notamment grâce à des subtilités dans les gestes et la voix qui les rendent plus « humains ». On peut retrouver une démarche similaire dans le spectacle *Sans Objet*¹³ d'Aurélien Bory dans lequel il travaille avec un bras robot industriel mais qu'il programme et traite comme un personnage. C'est le même travail qu'avec une marionnette, seule la commande est différente. Franck Bauchard, quant à lui, nous parle de robots et de fonctionnements venus de l'industrie ou pensés pour un usage domestique. Il questionne leur place au théâtre à travers plusieurs ateliers de création qu'il a menés dans le Centre National des Écritures du spectacle : La Chartreuse à Villeneuve-lez-Avignon. Il dit :

« Il faut savoir que la robotique a beaucoup évolué ces quinze ou vingt dernières années, et que cette révolution est liée à la création de la robotique comportementale. On est sorti du fantasme du robot dit 'Blue', très intelligent, qui battrait l'homme aux échecs, préprogrammé, pour aller vers un mode d'intelligence distribuée liée à des capteurs sensoriels. Donc, en dotant les robots de capteurs, on leur permet de s'immiscer dans leur environnement et de réagir, d'apprendre à partir de cet environnement et d'évoluer. Le robot devient une machine autonome. »¹⁴

11 - Oriza Hirata, « *Le théâtre et les robots* », *Agôn [En ligne]*, Points de vue & perspectives, mis à jour le : 14/09/2011, URL : <http://w7.ens-lsh.fr/agon/index.php?id=1170>. (consulté le 15/11/2016)

12 - Hirata Oriza est un metteur en scène et écrivain japonais.

13 - BORY, Aurélien, Compagnie 111, *Sans objet*, Toulouse, 2009.

14 - « *Le théâtre et les robots* », *Agôn [En ligne]*, Points de vue & perspectives, *op. cit.*

Il distingue deux grandes familles de robots. La première est plutôt liée à une puissance de calcul cérébral dont les seules limites sont la technologie et les algorithmes utilisés. Un ordinateur, un smartphone ou certains réfrigérateurs sont de bons exemples car ils sont largement présents dans notre société et possèdent une puissance de calcul qui leur permettrait aisément de battre un champion d'échecs. Les recherches sur l'intelligence artificielle vont dans ce sens et apporteront sans doute dans le futur une nouvelle révolution. La deuxième famille de robots issue de ce qu'on appelle la robotique comportementale est pensée de manière totalement différente. Elle n'est plus basée sur une programmation linéaire ni purement algorithmique mais sur un matriçage de données venant de ces différents capteurs comme un microphone, un capteur de distance, température, un accéléromètre, un magnétomètre... etc. Le traitement de ces différentes informations sur le monde qui entoure le robot lui permet de réagir à différents événements et ainsi d'acquérir une certaine autonomie et non une linéarité dans son évolution.

1.3 L'imaginaire autour du robot

Il est également intéressant d'étudier l'évolution de l'image des robots dans l'imaginaire collectif par la littérature, le cinéma et dans une moindre mesure le spectacle vivant. Depuis Prométhée et Pandore, l'interdiction de créer la vie artificielle au risque de subir une damnation divine est une notion persistante dans l'imaginaire lié à la robotique. C'est une sorte d'interdit, de tabou hérité de la mythologie grecque. Avec la pièce de Karel Capek *RUR*, on trouve une charnière dans l'imaginaire du robot car nous ne sommes plus face à la création unique d'un génie voulant se prendre pour Dieu, il s'agit de passer à une production industrielle de machines esclaves. Ce changement d'échelle entraîne, suite à la révolte de ces robots, une menace sur l'humanité entière. Cette pièce met en évidence une crainte de l'homme face à ces machines. Celle de se faire dépasser par sa création et ainsi perdre le contrôle. Si l'on donne à une machine de l'autonomie avec la capacité de s'adapter à son environnement et d'apprendre de ses erreurs, la crainte est que la machine effectue des actions qui ne sont pas programmées et peuvent donc s'avérer dangereuses. C'est l'une des questions fondamentales de l'intelligence artificielle et un ressort narratif récurrent dans les œuvres de science-fiction du XX^{ème} et XXI^{ème} siècle. Dans la pièce de Karel Capek, les scientifiques se demandent s'il faut donner aux robots plus que ce dont ils ont simplement besoin pour travailler, comme la sensation de douleur qui, à première vue, leur est inutile mais qui pourrait les protéger lors d'un accident.

« Dr GALL : Ce que je fais maintenant, ce sont des expériences sur le système nerveux qui devrait les rendre sensibles à la douleur.

HÉLÈNE : Mais pourquoi ? Pourquoi la douleur si vous ne leur donnez pas d'âme ?

Dr GALL : Pour des raisons industrielles, Mademoiselle. Les robots se blessent parfois parce qu'ils ne ressentent pas la douleur. Un robot met sa main dans la machine, elle lui arrache un doigt, il se fracasse la tête, il ne sent rien. Il faut que ça leur fasse mal, c'est une prévention contre la dégradation du matériel. »¹⁵

Si l'on poursuit cette réflexion jusqu'à donner au robot des facultés similaires aux êtres humains, qu'est-ce qui le différencie de nous ? Ne va-t-il pas chercher à se libérer de cette servitude initiée par les Hommes ? Toutes ces questions qui étaient de la science-fiction en 1920, et qui depuis ont été maintes fois abordées sous de multiples formes (romans, films, séries, théâtre...), sont aujourd'hui d'actualité avec l'avancée de la recherche sur l'intelligence artificielle et la multiplication des objets robotiques dans notre quotidien.

15 - ČAPEK, Karel, *op. cit.*, p. 58.

L'écrivain Isaac Asimov va en tirer les trois très célèbres lois de la robotique qu'il annonce inscrites au plus bas niveau de leur programmation pour qu'elles ne puissent jamais être modifiées. Il propose une nouvelle façon d'envisager les robots loin des interdits bibliques et de l'envie de révolte mais il considère le robot comme une création humaine avec laquelle il faut inventer de nouvelles règles régissant les relations humains-robots.

« Un robot ne peut porter atteinte à un être humain, ni, en restant passif, permettre qu'un être humain soit exposé au danger ;

Un robot doit obéir aux ordres qui lui sont donnés par un être humain, sauf si de tels ordres entrent en conflit avec la première loi ;

Un robot doit protéger son existence tant que cette protection n'entre pas en conflit avec la première ou la deuxième loi. »¹⁶

Ce qui est intéressant avec les robots est que, quelle que soit leur réelle programmation, on projette très facilement une sorte d'intelligence, une intention derrière leurs actions. On éprouve même de la compassion envers ces machines. On leur prête, quelle que soit leur forme, humanoïde ou non, une volonté d'action qui leur est propre. On projette naturellement nos comportements sur ce qui nous entoure. On attribue des émotions humaines à des machines. Un robot industriel peut évoquer le travail répétitif bête et contraignant, mais, sorti de son environnement de travail, il perd son utilité et devient attachant, touchant. C'est l'objet du film *Chappie*¹⁷ qui se déroule dans un futur où la police utilise des robots humanoïdes pour effectuer des interventions. On va ensuite suivre l'un de ces robots policiers qui va être reprogrammé, découvrir le monde et apprendre comme le ferait un enfant.

Dans le film *Ex-machina*¹⁸, Nathan a construit un robot doté d'une intelligence artificielle. Caleb est un ingénieur tiré au sort pour venir tester cette machine et définir si elle est douée de conscience. Pour ce faire, il fait passer à la machine une sorte de test de Turing. Le test de Turing consiste à faire répondre à un même questionnaire un humain et une machine. Si l'on n'arrive pas à savoir laquelle des deux réponses a été fournie par la machine, cette machine passe le test de Turing, c'est une marque d'intelligence artificielle avancée. Dans cet extrait, les deux hommes discutent face à une peinture expressionniste de Pollock des différences entre un homme et une machine, aussi

16 - Trois lois de la robotique. In <http://monot.jc.pagesperso-orange.fr/themes/robotloi.htm>, (consulté le 26 mars 2017)

17 - BLOMKAMP, Neil, *Chappie* [D.V.D], Sony Pictures, 2015.

18 - GARLAND, Alex (réal.), *Ex_machina* [D.V.D], Universal pictures video, Londres, 2015.

intelligente et avancée soit-elle. Cette différence fondamentale étant que la machine ne pourra jamais rien faire sans raison mathématiquement calculée, elle n'a pas d'instinct, d'intuition, une des conditions à la création artistique comme à beaucoup d'autres actions humaines.

« NATHAN: Viens voir par là. Tu connais ce mec, hein ?

CALEB: Pollock !

NATHAN: Pollock. Le peintre qui faisait du dripping. Il laissait son esprit vagabonder, et sa main aller là où elle voulait. Ça n'était pas mûrement réfléchi, ni fait par hasard. C'était entre les deux. On appelait ça l'art automatique.

NATHAN: Faisons comme si c'était Star Trek d'accord ? Enclenche l'intelligence.

CALEB : Quoi ?!

NATHAN: Je suis Kirk. Ta tête c'est la distorsion. "Enclenche l'intelligence". Et si Pollock avait inversé l'énigme? Si au lieu de faire de l'art sans penser il s'était dit: "Je ne peux rien peindre sauf si je sais exactement pourquoi je le fais." Que se serait-il passé ?

CALEB : Il n'aurait jamais rien peint.

NATHAN: Tu vois ? Ça c'est mon homme. C'est mon pote, qui prend le temps de penser avant d'ouvrir sa bouche. Il n'aurait jamais rien peint. Le défi, ce n'est pas d'agir de manière automatique. C'est de trouver une action qui n'est pas automatique. Que ça soit parler, respirer. Baiser. Et même tomber amoureux. » ¹⁹

En ce qui concerne l'apparence des robots et notre ressenti face à ces machines, notre empathie aurait tendance à augmenter avec leur ressemblance à l'homme. La figure ci-contre représente un graphique reprenant ces observations. En abscisse, nous avons la ressemblance entre l'objet et l'homme et en ordonnée, la sensation de familiarité. Il arrive un point dans la courbe, surnommé « la vallée de l'étrange », où la ressemblance avec l'homme est dérangeante. On a l'impression d'être face à un zombie, une personne malade ou morte. Lorsque nous identifions clairement que c'est un robot, nous avons tendance à remarquer tous les comportements qui le rapprochent d'une créature vivante, c'est dans ce cas que nous éprouvons de l'empathie pour la machine. Lorsque la ressemblance est si grande que l'on peut douter que ce soit une machine, on remarque plutôt ce qui l'éloigne du vivant. Nous ressentons dans ce cas une « inquiétante étrangeté ». C'est suite à ces recherches que les constructeurs de robots préfèrent garder une certaine distance avec la ressemblance humaine. Ils préfèrent les faire plus petits avec des formes rondes pour qu'ils nous paraissent amicaux et inoffensifs.

19 - *Ibid.*

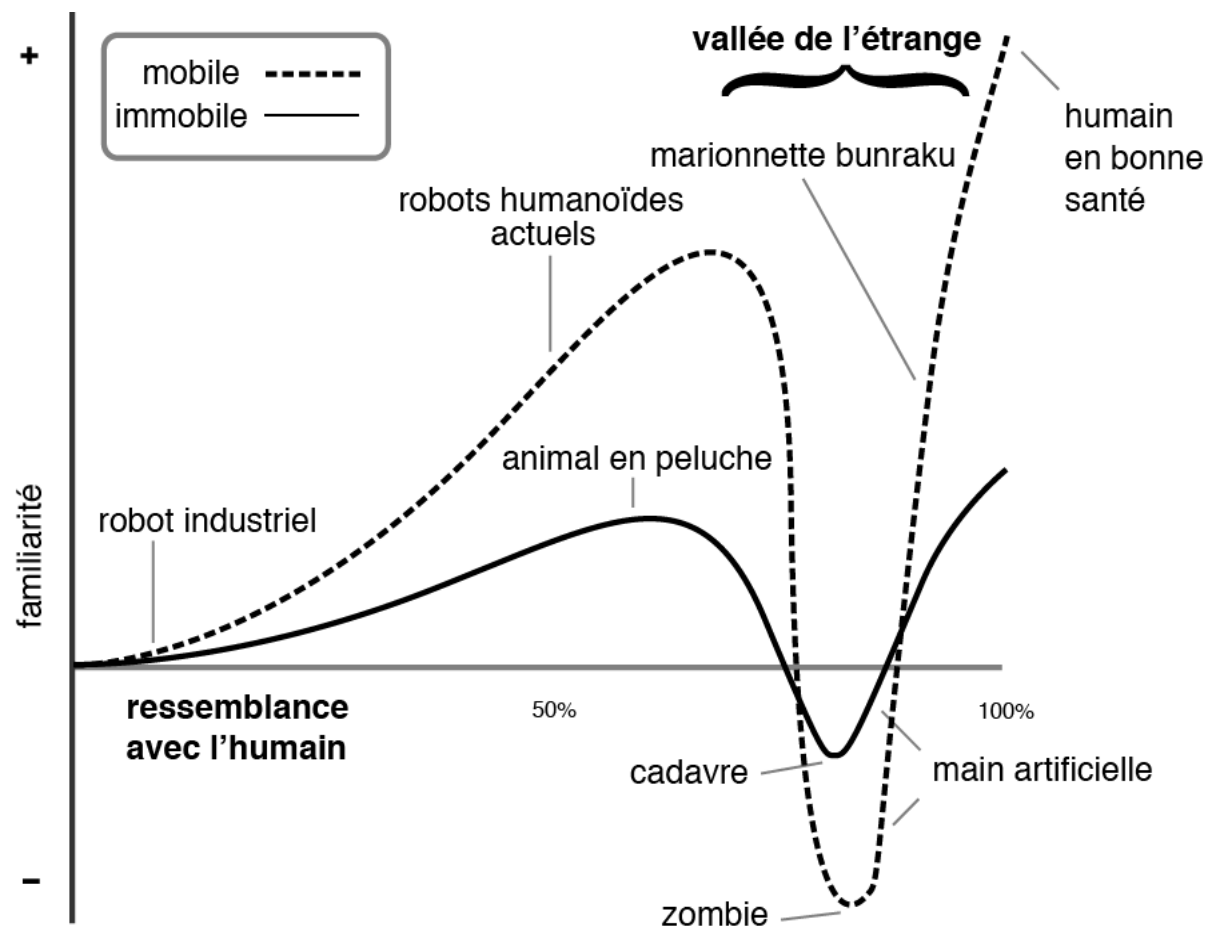


Figure 5 : La vallée de l'étrange définie par Masahiro MORI.

1.4 Une marionnette technologique fascinante et touchante

Je voudrais maintenant m'intéresser à plusieurs spectacles que j'ai pu voir, utilisant des robots sur scène.

1.4.1 Des robots Instrumentistes et Danseurs

Le premier est le spectacle de danse *ROBOT*²⁰ de Blanca Li. Ce spectacle utilise de nombreux robots musiciens qui interprètent la musique de spectacle. Ils rappellent les automates musiciens du siècle des Lumières. Leur présence sur scène nous apporte une immédiateté dans le son produit, on assiste à un concert Live où les interprètes sont eux-mêmes des instruments programmés pour effectuer certains mouvements qui produiront certains sons. Même si le spectateur sait que ce sont des machines programmées, l'illusion reste présente, elles s'animent et se coordonnent pour jouer une musique comme si elles avaient conscience de la globalité de l'orchestre. On retrouve cette sensation dans les créations musicales de *Félix machines*²¹ où le spectateur, installé dans une salle remplie de toutes sortes d'objets équipés de pistons et autres mécanismes, assiste à un orchestre d'objets sans intervention humaine. Dans une seconde partie du spectacle de Blanca Li, on assiste à une danse entre un homme et un petit robot humanoïde de la société Aldebaran robotics « Nao ». Dans cette partie, voir ce petit homme s'animer et essayer de danser comme un humain sans forcément y arriver le rend touchant et attachant, sans parler de la fascination naturelle que provoque un tel objet. Le spectateur projette facilement un comportement humain sur ce robot car il est de forme humanoïde et semble essayer de reproduire les actions du danseur comme un enfant imitant l'adulte. Dans cette partie du spectacle, le robot n'a pas d'identité sonore propre, il suit la musique qui fait partie du hors champ.

« Le robot est un miroir de l'humanité. »²²

20 - LI, Blanca, *ROBOT*, Montpellier, 2013.

21 - Felix est un artiste anglais qui réalise des installations sonores à partir d'objets du quotidien.

22 - GRANGIER, Emmanuelle in VILA, Véronique (réalisation), *ROBOTS (4/5) : Danse avec les robots. Spectacles vivants ?*, Les nouvelles vagues, France Culture, octobre 2015.



Figure 6 : *ROBOT* – Blanca Li



Figure 7 : Félix Machines

1.4.2 Un personnage robot vivant par le son

Aurélien BORY dans le spectacle *Sans objet*²³ nous propose de partir du côté industriel de la robotique. Il met en scène un bras robot industriel et deux Circassiens qui évoluent ensemble, créent une relation, un langage qui leur est propre par le mouvement, le son et la lumière. Malgré son aspect moins humanoïde que les robots de Blanca Li, on lui associe sans aucun problème un comportement humain ou animal. Pour rendre cet objet « vivant » pour le spectateur, Aurélien Bory a utilisé plusieurs outils du théâtre. Le mouvement est évidemment la première composante qui caractérise le robot mais ce sont les sons que le robot produit en se déplaçant qui vont créer son identité. Les sons choisis pour bruite les mouvements du robot sont à la base de l'identité donnée à cette machine. Aurélien Bory traite cet objet comme on pourrait traiter un personnage dans le film d'animation. Il part du son que le robot fait lui-même en installant des micros sur la machine et en modifie les sons. Pour lui, la vie apparaît lorsque l'on écoute la machine, comment elle fonctionne, comment elle vibre. Dans ce cas, l'identité sonore du robot est très importante car elle définit la machine, nous donne des indications sur son état émotionnel et la rend vivante.

« Le regard est anthropomorphique, on cherche la figure de l'homme
dans tout ce que l'on regarde »²⁴

23 - BORY, Aurélien, Compagnie 111, *Sans objet*, Toulouse, 2009.

24 -BORY, Aurélien in VILA, Véronique (réalisation), *ROBOTS (4/5) : Danse avec les robots. Spectacles vivants ?*, op. cit.



Figure 8 : *Sans objet* – Aurélien BORY

1.4.3 Des marionnettes high-tech

Dans deux de ces spectacles que je n'ai pas eu l'occasion de voir, Cyril Teste met en scène des objets robotisés. J'ai contacté Christian Laroche²⁵, créateur d'objets programmés qui a travaillé sur les spectacles *RESET*²⁶ et *SUN*²⁷ du collectif MXM mis en scène par Cyril Teste. Il m'a relaté les techniques qu'il a utilisées ainsi que la réaction du public face à ces objets. Dans le spectacle *RESET*, il s'agit d'un ballon télécommandé.

« C'était un ballon, comme un ballon de football, un gamin jouait avec, c'est dans la pièce *RESET* et d'un seul coup, c'est le ballon qui se met à jouer avec l'enfant. Il est motorisé à l'intérieur, la réalisation a été complexe, on jurerait un ballon, on se rend pas du tout compte que c'est un robot. ²⁸ »

Dans ce premier cas, c'est l'objet qui prend vie alors qu'il n'était qu'un simple objet jusque-là tandis que dans le spectacle *SUN*, il s'agit d'un robot araignée programmé pour réaliser des actions déclenchées par une télécommande depuis la régie. Dans les deux cas, l'objet devient alors un personnage, compagnon de jeu de l'acteur. Le robot fascine et le spectateur veut absolument croire que l'objet réagit par lui-même.

« [...] finalement le résultat est que les gens imaginent que l'araignée réagit par rapport à l'acteur alors que tout est scénarisé. On l'avait montré à un festival, j'avais un complice qui jouait avec l'araignée, l'araignée prenait peur, revenait vers lui, dès qu'il approchait la main, elle bougeait ses pattes d'une certaine façon ... Ce qui était incroyable c'est que les gens me voyaient avec la télécommande car j'étais à six mètres de lui mais la première chose qu'ils me demandaient était : "mais quels capteurs utilisez-vous pour qu'elle détecte à ce point la présence de l'acteur ?" Mais ils me voyaient la télécommande en main ! ²⁹ »

Il est intéressant de remarquer que nous avons intuitivement envie de croire que l'objet robot est un objet autonome dans son fonctionnement.

25 - Cf. Entretien avec Christian Laroche en annexe 4.

26 - TESTE, Cyril, *RESET*, Saint-Denis, 2010.

27 - TESTE, Cyril, *Sun*, Avignon, 2011.

28 - Entretien avec Christian Laroche, Annexe 4.

29 - Ibid.

1.5 Quel son pour une machine en mouvement ?

Lors de plusieurs expériences de création sonore pour le cinéma d'animation, j'ai abordé le travail par la recherche d'une identité sonore d'un personnage, pour trouver une matière qui le caractérise et qui lui donne une cohérence interne. On retrouve ce procédé dans des courts métrages d'animation comme *L'homme aux bras ballants*³⁰ de Laurent GORGIARD où le personnage que l'on suit est bruité à partir de sons de cuir. La plupart du temps, que ce soit dans des œuvres filmiques ou dans les spectacles que j'ai pu voir, le robot est bruité avec des sons se rapprochant le plus possible de l'objet en lui-même, en reprenant le son plus ou moins modifié de différents moteurs et un ensemble de bips en tout genre. À partir de cette matière intéressante, il est possible d'inventer un langage sonore qui permette de faire passer des émotions comme dans un langage animal par exemple. Dans le film d'animation *Wall-e*³¹, les deux personnages principaux sont des robots, le premier est un robot de vieille génération bruité avec des sons de moteurs bruyants, qui s'emballent vite et des bips distordus rappelant de vieux ordinateurs. Par opposition, le second robot, beaucoup plus récent, est très silencieux avec des sons beaucoup plus aériens, proches d'un son sinusoïdal. Cet écart de génération qui accompagne les choix de matière sonore leur donne une personnalité propre et une forte crédibilité. Cependant il serait intéressant de tenter d'utiliser une matière sonore totalement différente pour bruite les mouvements d'une machine.

Le son qu'un personnage produit est au moins aussi important que son image visuelle. Tout comme au cinéma, l'image et le son se complètent sans nécessairement dire la même chose. On peut alors jouer avec le son attendu par l'auditeur à la vue d'un objet pour raconter quelque chose sur celui-ci.

« Lorsque, dans *Mon Oncle*³², M. Arpel foule les dalles de son jardin, le bruit aigu et frêle produit par les chaussures du gros homme ne confirme pas l'image qui nous indiquait son poids et son sexe. Un bruitage aigu des pas remplace le son lourd censé correspondre à l'image du film. Cet écart marque la nature du personnage. Jacques Tati rompt avec le réalisme sonore, celui qu'appelle l'image. Ce dispositif détourne le son de son usage routinier. Le sonore tient à distance l'image, mais aussi l'ensemble de la situation. »³³

Dans le cas du robot, lui associer un son différent de celui attendu par l'auditeur composé de moteurs et de bips électroniques nous permet d'en dire plus sur son identité, et sa place dans la fiction.

30 - GORGIARD, Laurent, *L'homme aux bras ballants*, LAZENNEC BRETAGNE, St Jacques de la lande, 1997.

31 - STANTON, Andrew, *Wall-E* [D.V.D], Pixar Animation Studios, Los Angeles, 2008.

32 - TATI, Jacques, *Mon oncle*, 1958.

33 - DESHAYS, Daniel, *Pour une écriture du son*, Paris, Klincksieck, coll. « 50 questions », 2006, p. 28.

1.6 Une interface de contrôle pour la création orientée objet

1.6.1 Principe

Afin de pouvoir traiter l'identité sonore d'un robot en bruitant ses mouvements, il faut se poser la question de l'interface et de l'approche à utiliser. S'il s'agit simplement d'une chorégraphie prévue où chaque moteur se déplace à un moment précis dans un déroulement du temps linéaire, on pourrait tout à fait envisager de traiter le son d'une telle forme comme la bande-son d'une œuvre filmique. Dans mon cas, je veux mettre en place la logique inverse, créer une identité sonore de l'objet et pouvoir ensuite jouer sur plusieurs paramètres pour le mettre en scène. C'est un processus qui serait comparable à la création d'un personnage de roman, en imaginant sa vie et son caractère avant d'écrire ses aventures. C'est comme si je voulais créer un nouvel instrument de musique ; il s'agit dans un premier temps de trouver une matière sonore qui m'intéresse, ensuite de définir les paramètres de jeu (comme la hauteur de la note sur un piano) et de créer enfin une interface qui me permette de jouer sur ces paramètres tout en gardant la synchronisation, ou non, du son avec le mouvement du robot. C'est une sorte de création sonore « orientée objet »^{*34}. Avec cette approche, je laisse la possibilité d'utiliser un robot de manière autonome. Si le robot est équipé de capteurs pour réagir à l'environnement qui l'entoure en fonction de ce qu'il s'y passe, il devient très difficile de maintenir cette identité sonore liée au synchronisme du son et des mouvements du robot par une approche linéaire. En revanche, si son identité sonore est en liaison directe avec son mouvement, le son sera toujours cohérent avec l'objet « robot ». Au niveau du son, on peut imaginer utiliser cette approche pour la création d'un espace sonore. Dans une démarche réaliste, imaginons que l'espace représenté sur scène soit l'extérieur d'une auberge de campagne près d'une mare. Chaque objet pourrait avoir sa propre autonomie sonore, la mare, l'auberge, le vent qui passe dans les arbres... Au lieu de créer une bande-son figée et linéaire, chaque « objet sonore » peut disposer de sa propre autonomie et créer par ses échanges aléatoires un écosystème de sons. Cette démarche peut s'appliquer à des sons plus abstraits qui ne sont pas nécessairement reliés à un objet réel.

34 - Le signe * renvoie à une description complémentaire dans l'index.

1.6.2 L'expérience de la lampe-robot

Dans le cadre d'un atelier de recherche réunissant les élèves en conception sonore et en écriture sur lequel je reviendrai plus tard, j'ai pu tester plusieurs méthodes de sonorisation d'un objet robotique. J'utilise une applique murale en bois sur laquelle j'ai fixé deux servomoteurs*, ce qui me permet d'effectuer des mouvements avec la tête de cette lampe, du haut vers le bas et d'un coté à l'autre. Je fabrique des pièces pour permettre l'installation de ces moteurs et mets en place la chaîne de commande informatique de ces moteurs pour contrôler les mouvements de l'applique. La seconde partie de l'objet sur laquelle j'ai pris le contrôle est l'ampoule. Je mets en place un système me permettant de contrôler la puissance de la lumière émise par l'ampoule. Enfin, j'ai installé une enceinte située derrière la lampe pour me permettre de prendre le contrôle sur le son que cet objet produira.

Dans l'optique de ce que j'ai appelé précédemment la création sonore « orientée objet », il faut que je puisse lier un mouvement du robot à la diffusion d'un son qui corresponde à ce mouvement. L'une des solutions est que le mouvement et le son soient générés au même « endroit » l'un en fonction de l'autre. Il y a plusieurs façons de définir un mouvement pour une machine.

On peut le définir par rapport à sa position à un instant donné en suivant une suite d'indications relatives à la nouvelle position, donnant des instructions comme : monte, droite, stop, descends, droite... Lorsque l'on conduit une voiture, c'est ainsi que l'on fonctionne, on réagit à l'environnement et on prend des décisions qui modifient notre trajectoire à chaque seconde. Avec ce type de commande, on n'a pas directement d'informations sur le mouvement dans sa globalité, par exemple, on ne peut pas anticiper la fin du mouvement. Pour générer un son lié à un tel mouvement, j'utilise une seule information binaire. Le robot est en mouvement ou le robot ne bouge pas. J'utilise le logiciel de programmation MAX7 pour gérer le mouvement des moteurs ainsi que le son. Je récupère l'information binaire du mouvement pour contrôler un oscillateur*.

Si le robot bouge, l'oscillateur produit un son, s'il ne bouge pas, l'oscillateur ne produit pas de son.

J'obtiens un son très synthétique sans aucune expressivité mais bel et bien lié aux mouvements du robot. Pour améliorer l'expressivité du son, j'utilise plusieurs courbes d'automation* pour me permettre de moduler la hauteur et la forme d'onde du son en fonction du temps. Ainsi, lorsque le

robot se met en mouvement, le son évolue en suivant les courbes écrites jusqu'à ce qu'il s'arrête brusquement à la fin du mouvement. Je mets en place un système aléatoire pour sélectionner plusieurs séries de différentes courbes et les appliquer aux paramètres de l'oscillateur. J'évite ainsi d'obtenir le même son à chaque mouvement. La limite de cette définition du mouvement est que l'on ne sait pas à l'avance quand il va finir. Je ne peux donc pas utiliser de la même façon des courbes pour anticiper un arrêt.

Si le robot bouge, l'oscillateur produit un son qui évolue en fonction des courbes d'automations sélectionnées aléatoirement modifiant le son ; s'il ne bouge pas, l'oscillateur n'émet pas de son et les courbes s'arrêtent.

Une deuxième façon de définir un mouvement est de définir un point à atteindre en un temps donné ou avec une vitesse définie (l'un et l'autre étant interdépendants si l'on connaît la distance). Le trajet n'est pas nécessairement linéaire mais peut être défini par une courbe. C'est de cette façon que les robots industriels sont programmés, ils reproduisent toujours le même mouvement en connaissant le point où ils doivent se rendre et par quel chemin y arriver. Cette définition du mouvement me donne bien plus d'informations, car la globalité du mouvement est donnée avant même de l'avoir effectué. Il est donc possible de définir un son dans sa globalité qui correspondra au mouvement. J'utilise le même oscillateur que je module avec des courbes d'automations qui correspondent à la totalité de mouvement. J'adapte la vitesse de lecture de ces courbes à la durée du mouvement pour que leur évolution coïncide. Pour le traitement du son, je m'inspire pour un premier essai du son d'un moteur avec une phase d'accélération, ensuite le plein régime et la décélération. Je modifie la hauteur du son avec une courbe en forme de cloche aplatie. Je pars d'une fréquence de 20 Hz jusqu'à 2000 Hz puis, après quelques variations, je redescends à 20 Hz. Je modifie la forme d'onde du son en passant d'une sinusoïde à une onde carrée ou triangle pour obtenir différents rendus sonores.

Le mouvement est défini par son point d'arrivée et le temps que ce mouvement va prendre. Lorsque le mouvement commence, l'oscillateur se met en route et évolue en fonction des courbes d'automations qui sont lues à une vitesse définie par le temps que prend le mouvement pour que la fin des différentes courbes d'automation corresponde à la fin du mouvement. L'oscillateur n'émet plus de son une fois le temps écoulé.

J'essaie ensuite une autre approche. Au lieu de chercher à générer un son qui correspond au mouvement, j'utilise directement le son que produit le robot lorsqu'il est en mouvement. Lorsque les moteurs se mettent en marche, ils produisent un faible son acoustique et de petites vibrations. L'idée est de pouvoir récupérer ces vibrations et de les modifier ou s'en servir comme déclencheurs d'autres sons. J'utilise des capsules piézo-électriques pour capter les vibrations. Ces capteurs sont souvent associés à des microphones mais ils présentent un fonctionnement bien particulier. Il s'agit d'un matériau qui se polarise électriquement en fonction d'une pression mécanique. On peut donc étudier l'évolution de la tension électrique en fonction d'une pression. Dans mon cas, il s'agit des vibrations produites par les moteurs. En plaquant un capteur sur le pied de la lampe, je peux amplifier le son émis par les moteurs et le modifier. Je mets en place un égaliseur* pour modifier le son qu'il produit. Le son que je parviens à obtenir n'est pas très intéressant. Je pense que pour arriver à obtenir des matières sonores s'éloignant d'un buzz électrique, il faudrait que je mette en place un ensemble d'effets plus conséquents pour m'éloigner du son d'origine. J'installe également un capteur piézo-électrique sur le gradateur qui commande la lumière. Le gradateur produit un son plus intéressant, que j'ai alors simplement amplifié pour bruite le « mouvement de la lumière ». Je me rends compte que le mouvement physique du robot n'est pas le seul mouvement intéressant à bruite.

Avec un suiveur d'enveloppe, il serait possible de détecter les variations de niveau des vibrations et de déclencher un autre son synthétisé ou enregistré.

Pour m'éloigner des sons synthétiques générés par des oscillateurs ou synthétiseurs en tout genre, je m'intéresse ensuite à une autre possibilité : utiliser des matières sonores enregistrées puis modifiées par synthèse granulaire. Le principe de la synthèse granulaire est de découper un petit échantillon de son qui peut être de l'ordre d'une dizaine de millisecondes que l'on appelle un grain. Dès lors que l'on obtient ce découpage, on peut synthétiser un nouveau son issu du premier en réorganisant ces grains. On peut créer toutes sortes d'effets, comme un ralentissement du son par la répétition de ces grains tour à tour, ou même « geler » le son en plein déroulement en répétant un petit groupe de grains proches successifs dans différents ordres. Dans mon cas, je veux utiliser cette technique pour pouvoir utiliser un son enregistré et le modifier en fonction du mouvement du robot.

1.7 À la recherche d'une autonomie

L'une des choses qui me fascinent avec les robots est leur potentielle autonomie, le fait que, sortis de l'environnement pour lequel ils ont été programmés, ils nous offrent le spectacle d'une nouvelle vie à la découverte de l'inconnu. Cependant, dans cette démarche, je recherche la fulgurance, à savoir l'inverse du prévisible ; j'accepte volontiers les rencontres et découvertes imprévues. C'est une sorte d'écriture de plateau nourrie par des improvisations de la part d'une machine.

1.7.1 Première expérience

L'une des premières expériences que j'ai réalisées, qui fut moteur pour ma réflexion, a été conduite dans ma cuisine avec mes colocataires. Je travaillais sur une voiture télécommandée de type 4x4 que je reprogrammais pour lui accorder une autonomie dans son mouvement en s'affranchissant ainsi d'une télécommande. Je l'ai alors équipée de capteurs de proximité ultrasons pour évaluer la distance entre la voiture et un obstacle quelconque. Tout simplement pour qu'elle ne percute pas un mur sans avoir la chance de l'éviter ou de s'arrêter.

J'ai donc programmé la voiture pour qu'elle avance tant que les capteurs ne détectent pas d'obstacle à moins de 30 cm. Et dans le cas contraire, pour qu'elle recule jusqu'à que l'obstacle sorte de cette « zone de danger ». Cette première approche fonctionnait, la voiture avançait jusqu'au mur et se stabilisait à 30 cm du mur. Ce simple test est devenu une expérience intéressante lorsque j'ai sorti, par hasard, cet objet (ayant acquis une certaine autonomie) du cadre de l'expérience que j'avais imaginée. Ainsi lorsque ma colocataire s'est amusée à vouloir arrêter la voiture avec la main, celle-ci s'est arrêtée, puis dès que la main se rapprochait des capteurs, la voiture se mettait à reculer comme si elle se mettait à fuir par peur d'une agression.

Je n'étais plus uniquement face à un objet automatisé, mais aussi face à une sorte d'animal craintif dont je projetais l'image sur cet objet roulant.

Malgré cette théâtralité apparente, les objets autonomes sont très peu utilisés dans le spectacle vivant. La plupart du temps, la présence d'objets autonomes dans le spectacle vivant reste liée à des expérimentations ou à des ateliers de recherche comme les sondes que Franck Bauchard a développées lorsqu'il était directeur de la Chartreuse à Villeneuve-lez-Avignon.

1.7.2 Le Laboratoire de l’Inquiétante Étrangeté

La compagnie LIE (Laboratoire de l’Inquiétante Étrangeté) travaille sur le robot en tant qu'objet autonome et partenaire de jeu. Clément-Marie MATHIEU³⁵, directeur artistique de cette compagnie nous parle de son projet et de son rapport à la robotique :

« La problématique de notre recherche est celle de l'autonomie. C'est la définition basique d'un robot : un objet autonome en prise avec son environnement et grâce à une programmation plus ou moins complexe, produit une action. À partir du moment où cette action est produite, elle peut entraîner des conséquences non prévues. Le robot n'est ni un automate ni un objet aux réactions aléatoires, parce qu'il y a en jeu ce qu'on peut appeler une “pensée”. Notre recherche porte donc sur l'intelligence artificielle : on se demande comment un objet capable de “comprendre” l’environnement dans lequel il est plongé peut produire du jeu. Notre but est d’élaborer un objet qui serait capable de “comprendre” ce qui se passe sur scène et donc de “jouer”. Non pas pour être un substitut de l'acteur, mais pour être un compagnon de jeu. »³⁶

Dans l'installation *Gnômôn*³⁷, C.-M. Mathieu travaille avec plusieurs types de robots comme le robot « Nao », un robot industriel, des robots aspirateurs ainsi que d'autres objets comme un plafond kinetic³⁸ qui n'est pas un personnage mais fait partie de l'environnement robotique en réagissant aux mouvements du bras industriel. Dans cette installation immersive, les robots ainsi que le plafond, le son et la lumière font partie d'un système global cybernétique composé d'un grand nombre d'entrées et de sorties qui sont autant de possibilités d'interaction avec le public, les régisseurs et l'espace du plateau.

« Notre travail c'est l'interconnexion de tous ces robots, auxquels il faut ajouter la scénographie, le son et l'éclairage : c'est un objet global que nous élaborons. Il y a aussi une action humaine, avec la présence d'un régisseur qui échange avec le système. L'installation est donc une énorme boîte d'échanges, une matrice globale d'interconnexions. »³⁹

L'autonomie est intéressante car elle prend place dans une forme immersive avec un public en très grande proximité. L'interaction entre le public et les machines est possible. Une telle autonomie ne serait pas aussi intéressante dans une forme frontale suivant une dramaturgie linéaire.

35 - Clément-Marie Mathieu est un créateur son, vidéo et en robotique pour le spectacle vivant.

36 - MATHIEU, Clément-Marie, « Trouver des points de dialogue avec le monde industriel : un rêve commun » in revue *Ligéia*, XXVIII^e Année, n°137-140, Janvier-Juin 2015, dossier : *Théâtres laboratoires. Recherche-crédation et technologies dans le théâtre aujourd'hui*, p. 180.

37 - Laboratoire de l'Inquiétante Etrangeté, *Gnômôn*, ENSATT, 2013.

38 - Il s'agit d'un plafond translucide contrôlé par plusieurs servomoteurs dont la forme peut évoluer.

39 - MATHIEU, Clément-Marie, *op. cit.*, p. 182.

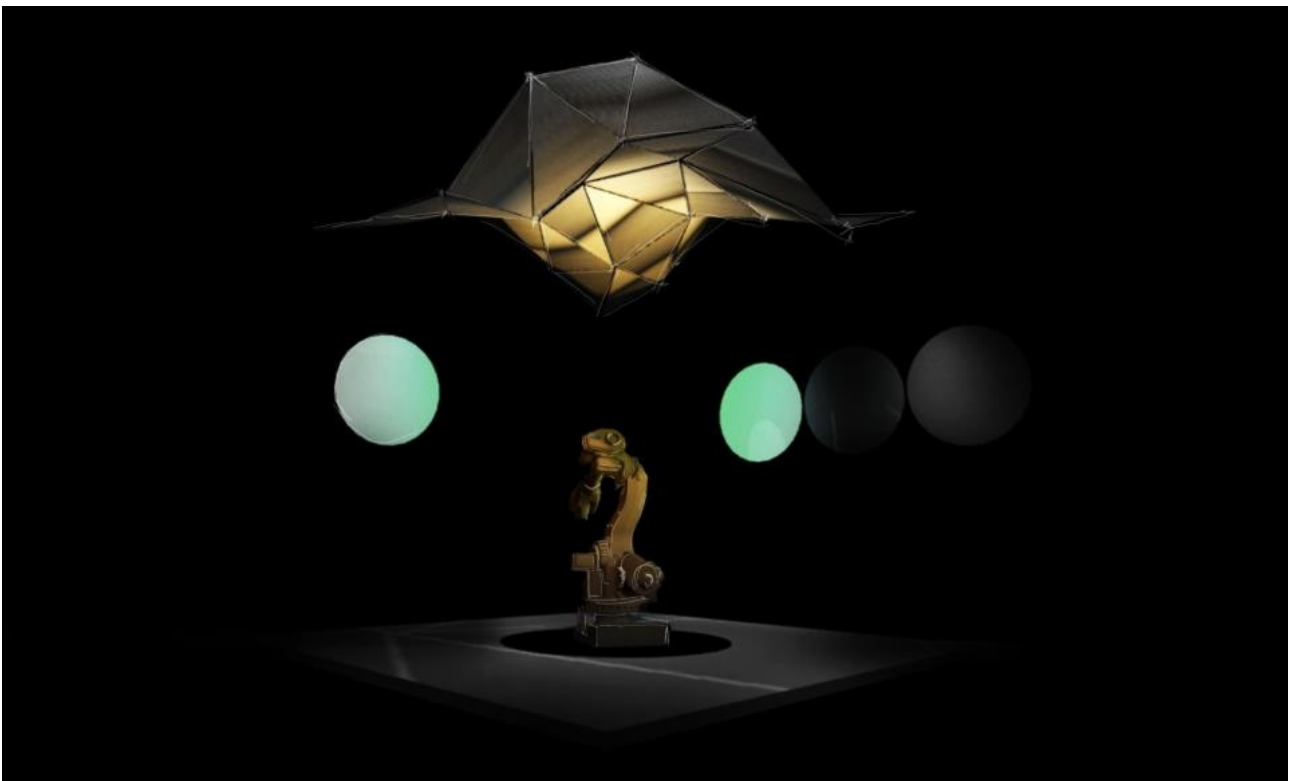


Figure 9 : Laboratoire de l'inquiétante étrangeté - *Gnômôn*

1.7.3 Pourquoi garder une réelle autonomie ?

Lors d'une discussion avec François Weber⁴⁰, il soulève la question de la perception des spectateurs. Si l'on reproduisait ma première expérience sur un plateau, quelle serait la différence si, au lieu d'équiper mon 4x4 d'un capteur, il était commandé par un régisseur depuis la régie ? Le spectateur vivrait-il la même expérience ? Cela aurait également l'avantage d'éviter tout dysfonctionnement d'un capteur.

Ma première intuition est que le jeu qui s'établit entre le 4x4 craintif et l'acteur est perceptible et que le spectateur ne perçoit pas la même relation, qu'il y a quelque chose de plus dans la réactivité du capteur aux stimuli externes. L'autonomie réelle est souvent illusoire, la plupart du temps elle est mise de côté pour simplifier la mise en place et éviter tout problème lié à des capteurs qui ne sont pas forcément très fiables. Dans certains cas, malgré le choix d'une commande manuelle, on peut tout de même parler d'une autonomie à un autre niveau.

Dans le spectacle *Égaux*⁴¹ de Laurent Gutmann créé à l'ENSATT en 2016, les acteurs se déplacent sur un plateau composé de différents lieux. Un espace en particulier est dédié aux poubelles. Comme devant bon nombre d'immeubles aujourd'hui, une lumière s'allume automatiquement lorsque quelqu'un entre dans cet espace et s'éteint après une ou deux minutes. On pourrait tout à fait imaginer mettre en place un réel détecteur de mouvements qui, bien calibré, pourrait éclairer la zone à chaque mouvement dans celle-ci. Il s'agit d'une mise en place qui demande du matériel spécifique et un réglage bien particulier. Pourquoi s'embêter avec cette installation complexe quand on a un régisseur qui peut allumer un projecteur au moment voulu ? Malgré le fait que ce ne soit pas le choix d'une lampe autonome qui fut privilégié pour le spectacle, Laurent Gutmann considère néanmoins le local poubelle comme un espace autonome. Son éclairage systématique au passage d'un comédien lui permet de rendre cet espace plus concret et d'en faire un réel outil de jeu. Pour lui, il s'agit de rendre l'espace plus concret et de permettre aux acteurs de jouer avec cet espace. On se trouve ici dans un jeu intéressant entre l'acteur et le régisseur au travers de l'allumage de cette lampe qui reste autonome malgré la commande manuelle de l'objet. Par la suite, Laurent Gutmann a voulu ajouter un petit « ding » symptomatique d'une ampoule froide qui s'allume brusquement synchronisée avec l'allumage du projecteur. Étant donnée l'importance du synchronisme entre le son et la lumière et

40 - Créateur sonore et intervenant à l'ENSATT.

41 - GUTMANN, Laurent, *Egaux*, Atelier Spectacle de l'ENSATT, Lyon, 2016.

l'impossibilité de savoir exactement quand le régisseur lumière lance son effet - son lancement n'étant pas lié à un instant précis du spectacle mais à un déplacement de l'acteur - nous les avons synchronisés via un système de commande MIDI. C'est un bon exemple de ce que j'ai appelé précédemment une création sonore « orientée objet », le son d'allumage étant associé au réel allumage de la lampe, nous sommes face à un seul objet de jeu multi-média.

1.7.4 Une autre approche de l'autonomie par l'aléatoire

Un objet effectuant des actions aléatoires n'est plus contrôlé par l'homme et devient donc autonome. Je m'intéresse alors à la création d'objets, sonores dans un premier temps, ayant un comportement aléatoire.

Je programme à l'aide du logiciel MAX7 un oscillateur synthétisant un son pur sinusoïdal dont la fréquence varie aléatoirement. Le résultat me donne l'impression d'un son instable qui devient rapidement insupportable car il est continu et sa hauteur évolue sans arrêt. Ce son est comparable à une alarme ou une sirène et ne suit plus une évolution logique. Pour éviter ces sensations désagréables, il faudrait provoquer de la discontinuité dans cette évolution en faisant varier le volume par exemple et en laissant une place au silence. Ce procédé permettrait l'apparition d'une organisation de ces sons en phrases se rapprochant ainsi d'un langage parlé ou musical. L'autonomie interne des variations de ce son n'en font pas un objet autonome intéressant. En effet, malgré cette réelle autonomie, je n'ai pas l'impression que les variations du son soient issues d'une volonté propre de l'objet.

Pour poursuivre mon expérience, j'ai décidé d'ajouter, à côté de l'enceinte, deux petits projecteurs dont l'intensité varie en fonction de la même fonction aléatoire qui régit la fréquence du son. J'ai lié le volume de ce son à cette même suite de nombres aléatoires afin de casser la linéarité du son obtenu précédemment, d'inclure une expressivité plus grande de l'objet et d'apporter le silence nécessaire, je pense, à l'apparition d'une entité autonome.

Le résultat est beaucoup plus intéressant, l'association du son avec un mouvement – ici le mouvement d'intensité lumineuse des projecteurs – permet d'attacher le son produit à une source qui n'est plus seulement un haut-parleur ou une zone vague de l'espace, mais un objet complexe composé de deux médias. Cette première observation me conforte dans l'idée que le croisement des

différents médias utilisés au théâtre est une clé essentielle de la création d'entités autonomes. La modulation du son en fréquence et en intensité apporte une expressivité qui permet également d'attacher une présence de l'ordre du vivant à ce simple ensemble d'enceinte et de projecteurs.

Pour poursuivre mon expérience, j'ai décidé d'ajouter sur le plateau un deuxième ensemble composé des mêmes éléments, régi par les mêmes règles avec une nouvelle suite de nombres aléatoires. J'ai simplement changé les bornes de la fréquence du sinus pour que les deux objets puissent être facilement identifiés par l'oreille. Ces deux objets lumineux et sonores me présentent alors un échange dans un langage qui leur est propre qu'eux seuls comprennent.

Ce qui manque à cette expérience, c'est une liaison entre ces objets, entre eux ou avec un public ou avec un acteur sur le plateau. Je pense que l'aléatoire pur permet l'apparition d'une sorte d'autonomie, mais sans interactions le procédé s'épuise assez rapidement.

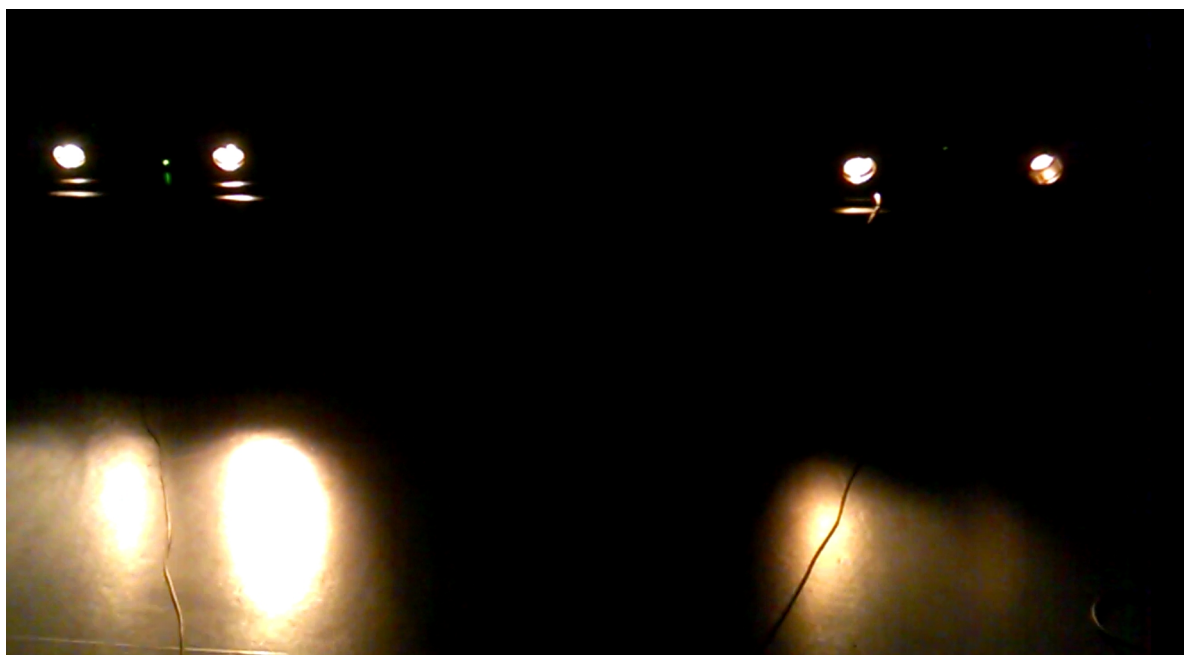


Figure 10 : Ensemble d'enceintes et projecteurs contrôlés par une fonction arithmétique aléatoire.

Le travail avec un objet autonome multi-média peut être intéressant en jeu mais encore plus au niveau du processus d'écriture. Je vais prendre pour exemple une expérience que j'ai réalisée dans le cadre des *Essais 2016*⁴² à l'ENSATT.

⁴² - Les Essais sont des formes théâtrales courtes travaillées en cours de deuxième année de formation à l'ENSATT regroupant les différents corps de métiers du théâtre.

1.7.5 Expérience *Essais 2016*, le Cyclope

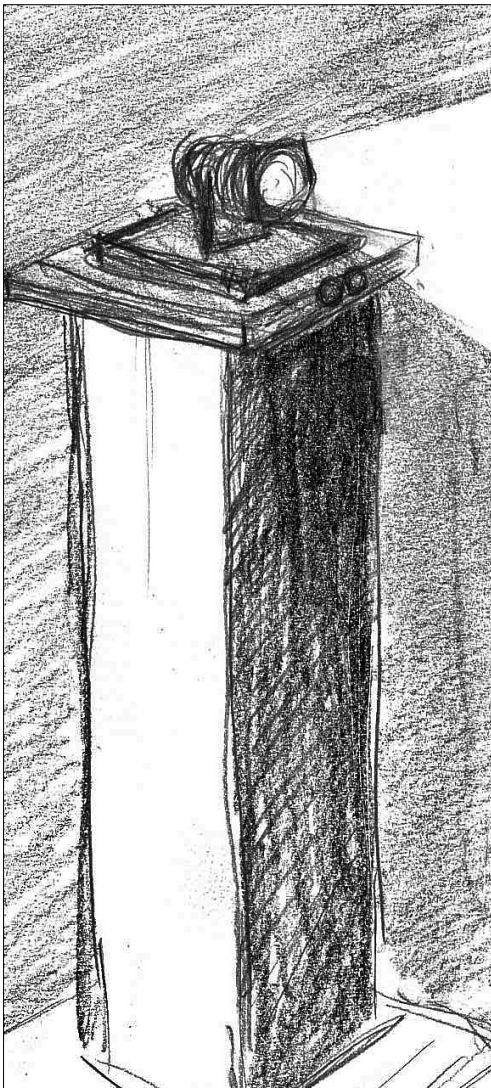
Lors des Essais 2016, j'ai participé à la création du projet *Cauchemar*. Dans ce projet, nous tentions d'explorer les différentes relations que nous entretenons avec nos cauchemars et nos angoisses. J'ai alors l'envie de parler de cette relation que nous avons avec nos peurs d'une manière moins textuelle que dans le reste du projet. J'imagine un dispositif pour créer une rencontre entre un acteur et le Cyclope. Le Cyclope est composé d'une colonne en bois noir équipée d'un capteur de proximité à ultrasons surmonté d'un petit projecteur dirigé vers l'acteur, l'observant comme un œil dans le noir. Une enceinte est cachée dans le piédestal. Avec le logiciel MAX7, je récupère les données du capteur via une carte Arduino et commande le son et la lumière. L'idée est de créer un objet autonome auquel je vais confronter les comédiens pour recréer les conditions d'une rencontre avec cette entité qui, réagissant à leur présence d'une manière définie, va provoquer un échange et du jeu avec un langage qu'il faudra inventer.

Je programme le comportement du Cyclope comme suit : Avec un oscillateur, je crée un son continu dans les basses fréquences que je module en volume à la fréquence d'un battement par seconde. L'intensité lumineuse du projecteur est soumise à cette même modulation. J'ai choisi ce son car il est à la fois inquiétant et suscite une certaine curiosité. Lorsque le capteur perçoit une présence à moins de 3 mètres, le battement accélère jusqu'à un son et une lumière continus au plus proche du capteur. L'intensité générale du projecteur augmente avec la proximité. Je place le dispositif dans une salle plongée dans l'obscurité et me dissimule pour observer les réactions. Je propose aux acteurs de venir rencontrer le Cyclope, tout en faisant bien attention de ne pas trop l'énervier. Je précise également qu'ils peuvent communiquer avec lui de quelque manière que ce soit.

La plupart des personnes se retrouvant seules face au dispositif sont d'abord intriguées, certains essaient de lui parler, mais rapidement le vrombissement inchange du Cyclope les pousse à s'approcher. C'est alors qu'un dialogue s'instaure entre l'homme et le Cyclope. On se retrouve face à deux entités qui se rencontrent sans posséder le même langage, qui se découvrent et communiquent malgré tout. La personne cherche alors à comprendre la logique inhérente à ces changements de rythmes. Le plus souvent, l'acteur se met à jouer avec cette limite, cette frontière à partir de laquelle le comportement du Cyclope change, comme s'il avait une zone de confort à ne pas dépasser. J'ai par la suite proposé d'autres rencontres avec cette installation en changeant la programmation pour modifier les interactions. En tant que spectateur, cette interaction qui n'est pas basée sur le texte est

pleine de sens et de vie, elle nous renvoie au rapport que l'on peut avoir dans certains rêves avec des formes étranges qui nous intriguent et nous effraient en même temps. Elles nous parlent du rapport à l'autre et d'un pré-langage non-verbal. L'expérience est également intéressante du point de vue de l'acteur. Je pense qu'en mettant le public à la place de l'acteur dans une installation où chaque personne viendrait rencontrer le Cyclope, l'expérience vécue serait encore plus intense et immersive. Cette expérimentation nous a permis d'envisager un système similaire sur scène.

Dans la pièce, le cyclope est représenté par une ampoule suspendue qui descend au centre du plateau et scintille. Équipée de capteurs de proximités, elle scintille de plus en plus, accompagnée d'un son abstrait de grognements qui envahit l'espace. Après quelques improvisations, nous avons



défini une rencontre entre un acteur qui, d'abord attiré par cette ampoule, s'en approche puis s'en écarte à plusieurs reprises et se rapproche de plus en plus jusqu'à l'enlacer, le son ayant atteint un haut niveau sonore et la lumière son intensité maximale. Cette entité autonome nous a permis de créer cette scène mais j'ai décidé de ne pas garder son autonomie réelle car les contraintes techniques se sont révélées trop importantes. En effet, l'ampoule étant suspendue par un fil, il était impossible d'être certain de la bonne orientation du capteur au moment voulu. De plus, ce système nécessite de l'électronique embarquée qu'il était difficile de dissimuler. J'ai donc simulé l'autonomie de cette ampoule en commandant le son et la lumière via une commande midi sur le logiciel MAX7 sur un unique fader. Ainsi je peux suivre les déplacements de l'acteur tout en gardant le synchronisme entre les deux médias, son et lumière. Je pense qu'une réelle autonomie aurait permis un jeu plus fin entre l'ampoule et l'acteur. Dans cet exemple, l'autonomie de l'objet est une réelle démarche d'écriture.

Figure 11 : *Le Cyclope*

Chapitre 2 : Un théâtre d'objets sonore

entre ombre et lumière

2.1 Atelier son-écriture

Lors d'un atelier organisé à l'ENSATT entre le département de conception sonore et le département écriture en novembre 2016, j'ai commencé à réfléchir à l'utilisation d'un objet robotisé dans une forme artistique.

2.1.1 L'idée

Cet atelier avait pour but de questionner notre processus d'écriture en cherchant de nouvelles manières de construire une dramaturgie en collaboration avec les auteurs. Par exemple, en se décalant par rapport à l'approche classique de l'écriture dramaturgique qui partirait d'un texte et ensuite s'étofferait d'une création sonore qui viendrait autour de ce texte. J'avais envie de tenter une autre façon d'écrire une histoire. Mon idée était de partir d'un objet robotisé, au lieu de partir d'un texte, d'une idée, d'une bande sonore... Tout comme il me semblait précédemment que l'utilisation d'objets autonomes offrait de nouvelles possibilités dans un processus d'écriture, il me semblait que l'utilisation d'un objet robotisé comme base de réflexion était riche et ouvrait de nouveaux horizons. Cet objet que j'ai choisi et créé est l'applique murale en bois dont je parle précédemment⁴³.



Figure 12 : *La lampe robot*

43 - Cf. supra, chap. n° 1.6.

Ma première intuition était de partir d'un objet du quotidien car il pourrait dans un premier temps passer inaperçu dans un décor et se mettre ensuite en mouvement pour interagir avec son environnement. J'ai d'abord pensé à une lampe d'architecte car elle est très répandue dans les bureaux et possède assez d'articulations pour permettre des mouvements complexes et intéressants. La construction mécanique qu'il faudrait mettre en place pour motoriser une telle lampe est complexe et les forces mises en jeu demanderaient des moteurs plus puissants que ceux que je possède à cet instant. C'est pour cela que je me concentre sur la motorisation d'un objet plus simple pour une première expérience : l'applique murale qui nécessite seulement deux moteurs et une adaptation mécanique plus simple. Il est important de remarquer que je suis parti d'un objet qui fait appel à plusieurs médias, le mouvement, la lumière et le son. Comme observé dans la première partie, j'ai l'impression que la rencontre de ces trois médias permet de créer une entité que l'on considère alors comme « autonome ». Malgré ces paramètres sous mon contrôle manuel, le spectateur aura tendance à prêter à cet objet une indépendance d'action. Dans la nature, ces médias sont intimement liés. Tout son est produit par un mouvement. Le son étant une pression acoustique se déplaçant de proche en proche dans l'espace, sa source est nécessairement un objet en mouvement. Qu'il s'agisse d'une source acoustique ou d'une membrane de haut-parleur pour une enceinte diffusant un son, le mouvement à l'origine du son, même imperceptible, reste présent. En observant la lampe en mouvement, je remarque que le mouvement traduit une vie physique externe tandis que la lumière nous fait part d'une existence interne à l'objet. La présence de mouvements lumineux sur un robot me fait immédiatement penser qu'il est en train de calculer ou de réfléchir à une action alors qu'un mouvement physique ne relève plus que de la réalisation d'une action préméditée. Cette observation me donne la possibilité de travailler sur deux fronts dans la création de cette entité autonome. D'un côté, la lumière me permet d'exprimer l'intériorité de l'objet et de l'autre côté, les mouvements traduisent des actions réelles sur le monde. On retrouve ici deux des éléments caractéristiques d'un robot énoncés par Catherine SIMON⁴⁴, un processus qui analyse les données et opère différents algorithmes de traitement et des actionneurs qui ont une action physique sur le monde. Le son peut alors être présent à ces deux niveaux pour créer l'identité de l'objet autonome. Je me rends compte au cours des premières expériences tout comme dans celles-ci que j'ai la volonté de créer des entités sur lesquelles le spectateur attache de la vie et des actions dont l'objet serait lui-même à l'origine.

44 - Cf. supra, chap. n°1.2.

Tout au long de cet atelier, j'évolue dans ma recherche de manière très intuitive. Je voyage en suivant une impression, une envie et fais parfois même demi-tour face à une route qui ne m'attire plus. De ce fait, j'entrouvre de nombreuses portes sans forcément suivre la piste jusqu'au bout.

2.1.2 L'imaginaire lié à l'objet

Après un peu plus d'une semaine passée à construire une première interface de commande et l'objet lui-même, je présente ce dernier en mouvement aux participants de cet atelier pour recueillir leurs impressions. Ce qui m'intéresse dans cette première approche est de voir à quel imaginaire cet objet renvoie. Le rapprochement avec la lampe bien connue de chez Pixar s'impose immédiatement. En effet, une lampe qui prend vie fait appel directement à ces souvenirs d'enfance que partage plus d'une génération, à ce personnage créé par les dessins animés Pixar et qui revient au début de chacun de leurs films.

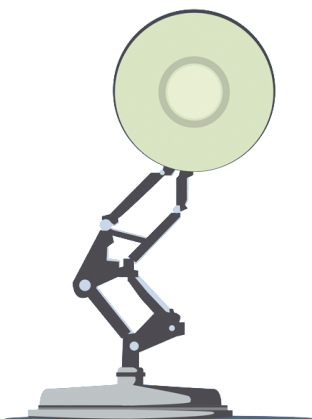


Figure 13 : *La lampe Pixar*

Suivant la façon dont la lampe bouge, cet objet peut aussi bien faire appel à un imaginaire très industriel, on pense à des bras robots qui soudent des voitures avec une incroyable précision sans jamais s'arrêter, ou renvoyer à une certaine animalité, comme un petit animal qui cherche à découvrir le monde qui l'entoure. Le fait que cet objet puisse faire penser à une machine ou à un animal suivant ses mouvements fait déjà théâtre. La simple mise en mouvement de cet objet nous raconte un paradoxe du vivant face à la machine. D'un côté, L'Homme a une volonté d'utiliser ces machines pour s'en servir en tant qu'outil performant et fiable. Mais d'un autre côté, il recherche

dans ces machines à créer de la vie et à les rendre plus « vivantes » et autonomes. Ce champ de questionnements très présent dans la science-fiction m'apparaît très rapidement dans cet atelier de recherche.

Ce robot-lampe me fait penser à plusieurs univers, celui de la surveillance à grande échelle par exemple. En effet, l'objet peut s'apparenter à une caméra qui nous observe pour permettre à une entité plus puissante de surveiller, de contrôler nos vies. Cette vision ouvre une autre partie de la science-fiction décrivant des univers dystopiques comme dans le roman *1984*⁴⁵ de George Orwell ou dans le jeu *Portal*⁴⁶ avec le personnage de Glados, un robot qui contrôle l'univers entourant le protagoniste par la surveillance accrue de celui-ci. De plus, si la lampe est l'unique source de lumière, elle a la possibilité de s'éteindre à tout moment et de nous empêcher de voir quoi que ce soit, imposant ainsi son pouvoir de censure.

Un autre univers qui m'est alors apparu est celui de la résolution d'enquête. En effet, l'objet lampe est le compagnon de l'enquêteur sur son bureau, toujours prêt à l'éclairer dans une sombre affaire. J'imagine alors une scénographie où la lampe serait posée sur un bureau d'enquêteur recouvert d'une montagne de dossiers. On suivrait un enquêteur qui, perdu dans son enquête, serait aidé par son fidèle compagnon, une lampe qui lui indiquerait et mettrait en lumière certaines pièces de l'affaire. La forme de l'enquête m'intéresse également car j'ai envie de parler de la multiplicité des points de vue que l'on peut avoir sur un même objet ou sur une même situation. La lampe peut avoir cette position de narrateur par l'éclairage d'une situation représentée par une maquette qui serait éclairée sous différents angles, nous proposant ainsi différents points de vue nécessaires à l'évolution de cette enquête, occasion rêvée pour essayer d'inventer une nouvelle façon de communiquer entre la lampe et l'acteur. Je n'irai pas à ce moment-là jusqu'à la réalisation de cette forme mais cette idée de l'enquêteur face à une énigme qui nécessite une confrontation de points de vue reviendra dans mes prochaines expérimentations.

45 - ORWELL, George, *Nineteen eighty-four*, Paris, France Loisir, 1984.

46 - WOLPAW Erik, FALISZEK Chet, SWIFT Kim (Concepteurs), *Portal*, Valve Software, 2007.

2.1.3 Les ombres projetées

Par la suite, je me suis intéressé à l'impact que pouvait développer cet objet sur ce qui l'entoure. J'ai alors remarqué que cette source lumineuse en mouvement projetait sur les murs de la pièce des ombres elles aussi en mouvement. Cette lampe suggère un nouveau champ d'expérimentation théâtral sur lequel je me suis penché plus précisément pendant la suite de l'atelier.

En plaçant un objet sur une table à proximité de la lampe, son mouvement, bien que limité, nous offre une projection de l'ombre de l'objet sous différents angles. En disposant une simple feuille de papier pliée pour figurer une tente, le mouvement de la lampe nous permet de passer de l'extérieur à l'intérieur de la tente avec un mouvement de travelling éminemment cinématographique. J'imagine alors une scénographie plus complexe composée d'objets en tout genre et de maquettes au milieu desquelles une ou plusieurs sources lumineuses viendraient offrir différents points de vue et nous faire ainsi voyager par ces projections d'ombres. Une autre remarque intéressante est que la source de lumière étant omnidirectionnelle, la projection de l'ombre sur l'écran n'a pas de limite, elle est englobante. Contrairement à la vidéo-projection classique, cette projection d'ombres n'a pas de cadre.

Je réalise une maquette simple de la silhouette d'un immeuble devant laquelle je place la lampe-robot. L'ombre de l'immeuble est projetée sur le mur. Pour cette forme, la maquette représente une façade d'immeuble abandonné, déserté de tous après un cataclysme ou un autre événement majeur. La présence de la lampe me permet de faire vivre à nouveau cet immeuble par son ombre, de raconter la vie des personnes qui habitaient dans ces appartements. C'est un deuxième plan de lecture offert au spectateur. Cette multiplicité de plans et de points de vue possibles me semble une idée intéressante à poursuivre.

Pour permettre à l'ombre de l'immeuble de s'animer et de prendre vie, je teste différentes techniques de projection et de mapping vidéo. Je choisis un type de projection qui se rapproche de l'ombre. Ce sont des silhouettes qui évoluent dans le décor. J'utilise un écran vert pour filmer une silhouette de personnage en mouvement ou des décors. Je traite ensuite les images pour que les formes filmées s'intègrent dans l'ombre de l'immeuble puis je les projette directement dans l'ombre. Il serait possible de projeter des textures directement sur la maquette. J'imagine la possibilité qu'un acteur puisse venir compléter ce décor en dessinant sur la surface de projection en fonction du récit ou des

objets.

Dans cette installation, la lampe a une double fonction. Elle incarne un personnage et permet de raconter la vie de la maquette avec son ombre. La place du sonore est double. D'un côté, il permet la création du personnage de la lampe par le bruitage de ses mouvements et d'un autre côté, il raconte le chemin que le spectateur va suivre dans une installation visuellement complexe, (maquette, ombre, vidéo, objets...). Comme dans une œuvre filmique où le cadrage de la caméra guide le regard, j'imagine que le son pourrait permettre de guider l'attention du spectateur et de cadrer l'action.⁴⁷

L'utilisation de moteurs pour contrôler la lampe me permet de conserver des positions précises auxquelles je peux facilement revenir. Cette précision est essentielle pour pouvoir utiliser le mapping vidéo. Cependant, l'objet en lui-même étant bricolé avec des matériaux de récupération et un système de fixation réalisé avec mes moyens d'ingénierie mécanique, la précision et la fiabilité de l'objet n'est pas toujours optimale. Par la suite, je reviendrai sur certains points de mes expériences de l'atelier son-écriture : Les ombres et les objets.

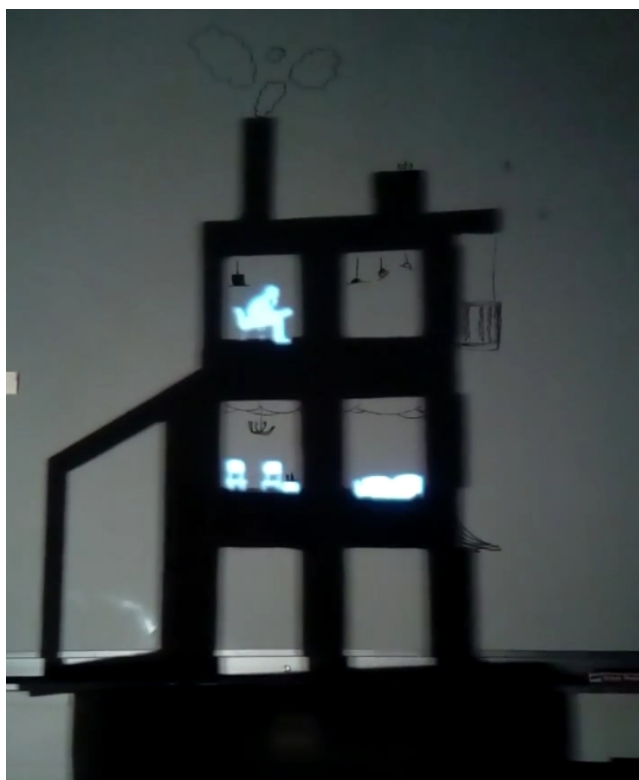


Figure 14 : *L'ombre d'un immeuble habité par des silhouettes.*

47 - Cf. infra, chap n° 2.6.

2.2 Un théâtre d'ombres

Lors des expériences autour de la lampe robot, j'évoluais par association d'idées. L'utilisation des ombres m'est apparue naturellement dès lors que j'ai placé la lampe sur un plateau. Je me suis intéressé plus particulièrement à la forme du théâtre d'ombres⁴⁸. J'ai toujours été fasciné par le théâtre d'ombres, il suffit d'une source de lumière et d'une surface sur laquelle l'ombre de nos mains prend la forme de loups, de colombes, de figures en tout genre. On raconte des histoires avec ses mains. On ne peut définir de premier spectacle d'ombres car dès que l'homme a su maîtriser le feu, on peut tout à fait imaginer qu'il se soit mis à raconter des histoires en formant des ombres sur les murs de sa caverne. On retrouve les premiers signes de ce théâtre en Asie au I^{er} siècle avant J.C. La tradition de ces spectacles d'ombres se codifie au fil des siècles, arrive en Grèce et en Turquie, puis en Occident au XVII^{ème} siècle. La France se découvre un réel intérêt pour ces spectacles avec, entre autres, le célèbre théâtre de silhouettes de Séraphin puis au XIX^{ème} siècle avec le célèbre cabaret du Chat Noir, spécialisé dans les spectacles d'ombres. Depuis l'Asie antique jusqu'aux spectacles du Chat Noir, le spectacle d'ombres fonctionne d'une manière similaire. Une source de lumière éclaire un écran séparant les spectateurs de celle-ci. Un manipulateur vient positionner sur l'écran des formes découpées dans du papier, ou toute autre matière, projetant ainsi leur ombre sur l'écran. On peut encore voir aujourd'hui des spectacles d'ombres directement issus de ces traditions, souvent associés, dans l'imaginaire collectif, au théâtre jeune public, tout comme l'art de la marionnette.

Ces spectacles spécifiques mis à part, l'art des ombres est assez répandu dans de nombreuses formes artistiques allant du spectacle vivant au cinéma, en passant par l'art plastique. J'ai trouvé plus d'inspiration dans l'art plastique et l'installation que dans le spectacle d'ombres qui reste pour la plus part très classique. J'ai trouvé très intéressant le travail du duo *Tim Noble and Sue Webster*⁴⁹ car l'objet servant de projection raconte autant de choses que la projection elle-même. Il y a là une double lecture sur les apparences qui m'interpelle. Ce duo utilise toutes sortes d'objets et de détritiques pour former un amas qui, une fois éclairé, laisse apparaître un autre objet dans l'ombre. On a ainsi accès à l'apparence de l'objet par l'ombre projetée mais également à ce qui la constitue. Que ce soit une ville construite avec de vieux emballages tout droit sortis d'une poubelle ou un amas de bric et de broc qui forment la silhouette d'un homme, le sens symbolique de leurs installations est très fort.

48 - Théâtre de Narbonne, Histoire du théâtre d'ombres [en ligne], disponible sur <https://www.letheatre-narbonne.com/saisons/13-14/dp/histoiretheatredombres.pdf>, (consulté le 5 avril 2017).

49 - Timothy "Tim" Noble et Susan "Sue" Webster sont deux artistes anglais travaillant en collaboration sous le nom « Tim Noble and Sue Webster ».



Figure 15 : Tim Noble and Sue Webster, *SUNSET OVER MANHATTAN*



Figure 16 & 17 : Tim Noble and Sue Webster, *WILD MOOD SWINGS* (gauche), *YOUNGMAN* (droite)

Je trouve intéressant le travail de Kumi Yamashita⁵⁰ qui utilise une source de lumière pour faire apparaître une ombre à partir de formes très différentes comme des chiffres ou des plaques de bois sculptées qui servent à projeter l'ombre sur le mur ainsi qu'à la forme en elle-même. Par exemple dans l'installation *CHAIR*, la silhouette d'une femme est assise sur une chaise et c'est l'ombre de la chaise qui forme cette silhouette. Ici, l'objet projetant son ombre est plus abstrait voire quasiment inexistant. L'objet représenté par l'ombre ne peut être visible qu'une fois que la source de lumière est positionnée au bon endroit. En dehors de cela, il est impossible de deviner la forme de l'ombre. Dans certaines œuvres, la surface découpée qui provoque l'ombre fait partie du tableau final et n'est pas uniquement là par nécessité technique. Cette double utilisation de l'objet lui donne une présence plus forte.



Figure 18 & 19 : YAMASHITA, Kumi, *CITY VIEW* (gauche), *CHAIR* (droite)

50 - Kumi Yamashita est une artiste plasticienne japonaise basée à New-York.

Enfin, j'ai découvert l'installation *The Tenth Sentiment*⁵¹ de Ryota KUWAKUBO qui se rapproche beaucoup des expériences que j'ai pu faire avec ma lampe robot. Ici, il s'agit d'un train électrique équipé d'une LED qui se déplace dans une pièce où de nombreux objets sont posés tout au long des rails. La LED étant l'unique source de lumière, on suit le train par les projections d'ombres qu'il met en mouvement à son passage. La dramaturgie de cette installation est donnée simplement par un enchaînement de tableaux en mouvements, le spectateur est comme projeté dans ce train miniature. Parfois il passe dans différentes structures comme un tunnel ou une bassine retournée. On a alors l'impression d'entrer réellement dans cet espace, la sensation d'immersion est totale.



Figures 20 & 21 : KUWAKUBO, Ryota, *The Tenth Sentiment*

51 - Ryota KUWAKUBO est un artiste japonais qui travaille sur les nouvelles technologies et les objets qui en sont issus.

2.3 Un théâtre d'objet

Je me suis intéressé au théâtre d'objet car il se rapproche de la forme que je développe. Dans cette forme de théâtre, une réelle importance est donnée aux objets et à l'imaginaire que le spectateur projette sur ceux-ci. On joue des objets du quotidien et de leur utilisation habituelle pour créer du sens. Le fait de travailler avec l'objet « robot » engage naturellement un imaginaire bien particulier pour le spectateur car même si cet objet n'est pas dans le quotidien de tous, il fait référence à un imaginaire fictif très développé. Dans le cas de mon expérience avec l'applique murale que j'ai robotisée, le rapport à l'objet est intéressant car je détourne un objet connu, une simple lampe, pour en faire un personnage.

Le rapport entre différentes échelles me paraît très intéressant, on peut situer plusieurs espaces en même temps, jouer avec les points de vue.

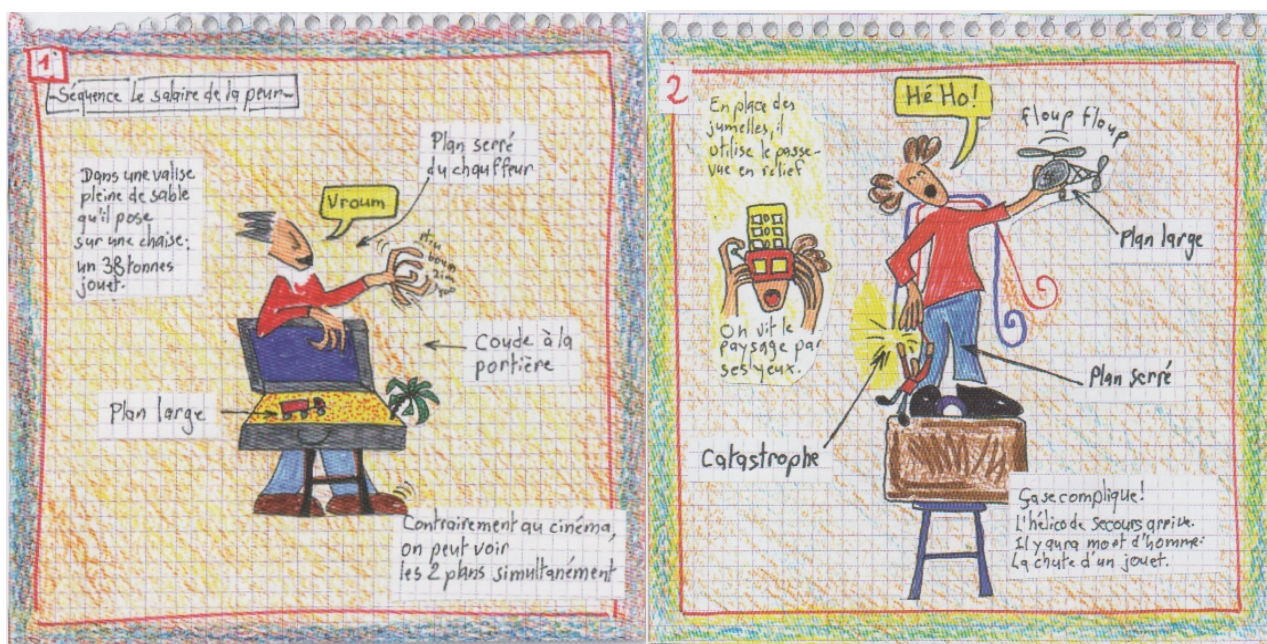


Figure 22 : Scènes de théâtre d'objet

Dans ces exemples issus de l'ouvrage *Le théâtre d'objet*⁵², il est possible de montrer plusieurs choses en même temps. Ainsi le spectateur se trouve dans l'étrange position de suivre deux points de vue simultanément. Avec les ombres, il est possible de créer une situation similaire par le double regard

⁵² - CARRIGNON, Christian et MATTEOLI, Jean-Luc, *Le théâtre d'objet : A la recherche du théâtre d'objet*, Paris, THEMA, coll. « Encyclopédie fragmentée de la marionnette », 2009.

sur l'objet éclairé et l'ombre projetée. On peut imaginer une maquette d'immeuble dont l'une des fenêtres est éclairée par une source de lumière invitant à voir sur un écran positionné derrière la maquette l'intérieur de cet appartement. Dans ce cas, on dispose d'un plan large grâce à la maquette et d'un plan plus serré, zoomé, sur un appartement.

Dans le mémoire d'Antoine BRIOT, *Pour une écriture sonore d'un théâtre d'objet*, l'auteur mentionne un objet particulier qu'il a fabriqué : Le « char d'as-son ». Il s'agit d'une voiture télécommandée sur laquelle est installé un micro canon.

« Ce dispositif permettrait d'imaginer la possibilité de pouvoir faire évoluer un point de vue et des matières sonores dans une installation d'objets. »⁵³

Ce dispositif est particulièrement intéressant car il s'agit de placer le spectateur dans un point de vue particulier, lié à un objet. Tout comme la lampe robotisée, qui propose à travers la projection en ombre de ce qu'elle éclaire un cadrage visuel, j'imagine de la même manière d'équiper l'extrémité d'un objet robotisé d'un microphone pour créer un point de vue sonore de cet objet.



Figure 23 : “Char d’As-Son”

53 - BRIOT, Antoine, *Écriture sonore d'un théâtre de l'objet*, Mémoire de projet personnel de fin d'études, conception sonore, Lyon, ENSATT, 2015, p. 28.

2.4 Du micro-monde à l'immersion

Par la suite, il m'apparut évident qu'il me fallait créer une forme où toutes ces influences et ces pensées se rejoindraient. Avec l'aide de Lisalou EYSSAUTIER, élève scénographe de l'ENSATT, et de Lisiane DURAND, élève écrivaine-dramaturge, je réfléchis à l'élaboration d'une telle forme. Pour ces nouvelles expériences qui mèneront à la soutenance de ce mémoire, je cherche à travailler avec deux éléments scéniques principaux : Un bras robot et une maquette. L'idée étant d'avoir ce bras robotisé équipé d'une ou de plusieurs sources de lumière et d'un dispositif de captation sonore qui se déplace au sein d'une maquette, l'éclairant de différents points de vue, projetant son ombre et nous offrant de multiples points d'écoute. J'imagine pouvoir changer totalement de lieu en jouant sur la projection d'ombres d'un même décor mais sous différents angles. N'ayant pas, dans un premier temps, la possibilité de travailler avec un bras robot qui conviendrait à ce projet, je commence par réfléchir à l'espace dans lequel il évoluera.

A l'instar d'un romancier qui chercherait à créer un monde avant d'y raconter une histoire qui y prendrait place, je décide de me plonger un instant dans l'univers de la scénographie.

« J'ai découvert qu'un roman n'a rien avoir en première instance avec les mots. Écrire un roman, c'est affaire de cosmologie. Je pense que pour raconter, il faut avant tout se construire un monde, le plus meublé possible, jusque dans les plus petits détails. Les mots viennent ensuite presque tout seuls. »⁵⁴

Durant une semaine, je m'installe dans une salle avec comme objectif d'expérimenter l'utilisation de différents matériaux pour créer un espace de jeu propice à la mise en perspective de différents points de vue d'un même lieu. Je prends comme base une maquette d'immeuble abandonné que me prête Lisalou et commence à construire un micro-monde en maquette. Tout en construisant un espace cohérent, j'essaie différents matériaux transparents ou translucides comme des plastiques ou feuilles de papiers calques car ils projettent des textures d'ombres intéressantes. Je mets en place un écran composé de trois panneaux amovibles que je place en demi-hexagone derrière la maquette. J'utilise une lampe de régie ou la LED flash de mon téléphone portable pour observer le rendu de la lumière projetée à travers ces matières. Je poursuis mes expérimentations en essayant différents points de vue et mises en espace qui utilisent le changement d'échelle et la netteté de l'ombre. En effet, plus la distance entre la source et l'objet est grande en comparaison avec la distance objet-

54 - ECO, Umberto, *Le nom de la rose* [Préface], Paris, B. Grasset, 1985.

écran, plus la projection est nette et proche de la taille de l'objet. Inversement, si la distance ombre-objet s'agrandit devant la distance objet-source de lumière, on obtient une ombre gigantesque et floue. Cela me permet de jouer avec les échelles et donne un effet de flou qui me rappelle les réglages d'un objectif de caméra. Le papier calque ou certains plastiques ont la particularité de pouvoir laisser totalement passer la lumière si la source est proche de la surface, ou être totalement opaques si la source s'en éloigne. Entre ces extrêmes, cette matière propose toute une gamme de flous intéressante. En jouant sur cette distance, j'obtiens un mouvement rappelant la mise au point manuelle d'un appareil photographique. En déplaçant la source de lumière d'un côté à l'autre, on obtient un effet de travelling où la projection des objets se déplace à des vitesses variables suivant leur distance à la source. Il est ainsi possible de créer plusieurs plans qui se détachent dans la projection. Les éléments de maquette immobiles forment des tableaux d'ombres avec leur silhouette. Lorsque la source de lumière se met en mouvement, ces silhouettes se meuvent pour former de nouveaux tableaux. La présence de ces différents mouvements « de camera » empruntés au cinéma, la mise au point, le travelling ou encore le zoom m'amènent à me poser la question de leur sonorisation. Il ne s'agit pas là d'une pulsion incontrôlable de bruiteur tout mouvement, mais une fois de plus, ces mouvements me renvoient au cinéma d'animation qui utilise souvent ce genre de procédés pour souligner un changement de plan.

J'expérimente l'installation de différentes sources lumineuses directement dans la maquette. Je me rends compte que je suis en train de mettre en parallèle deux univers, un micro-monde de la maquette et un monde immersif de projections d'ombres sur l'écran. Les deux plans sont intéressants et leur mise en perspective réciproque l'est encore plus. J' imagine alors que l'on navigue entre ces deux plans d'écriture ou les superposer pour créer un autre sens.

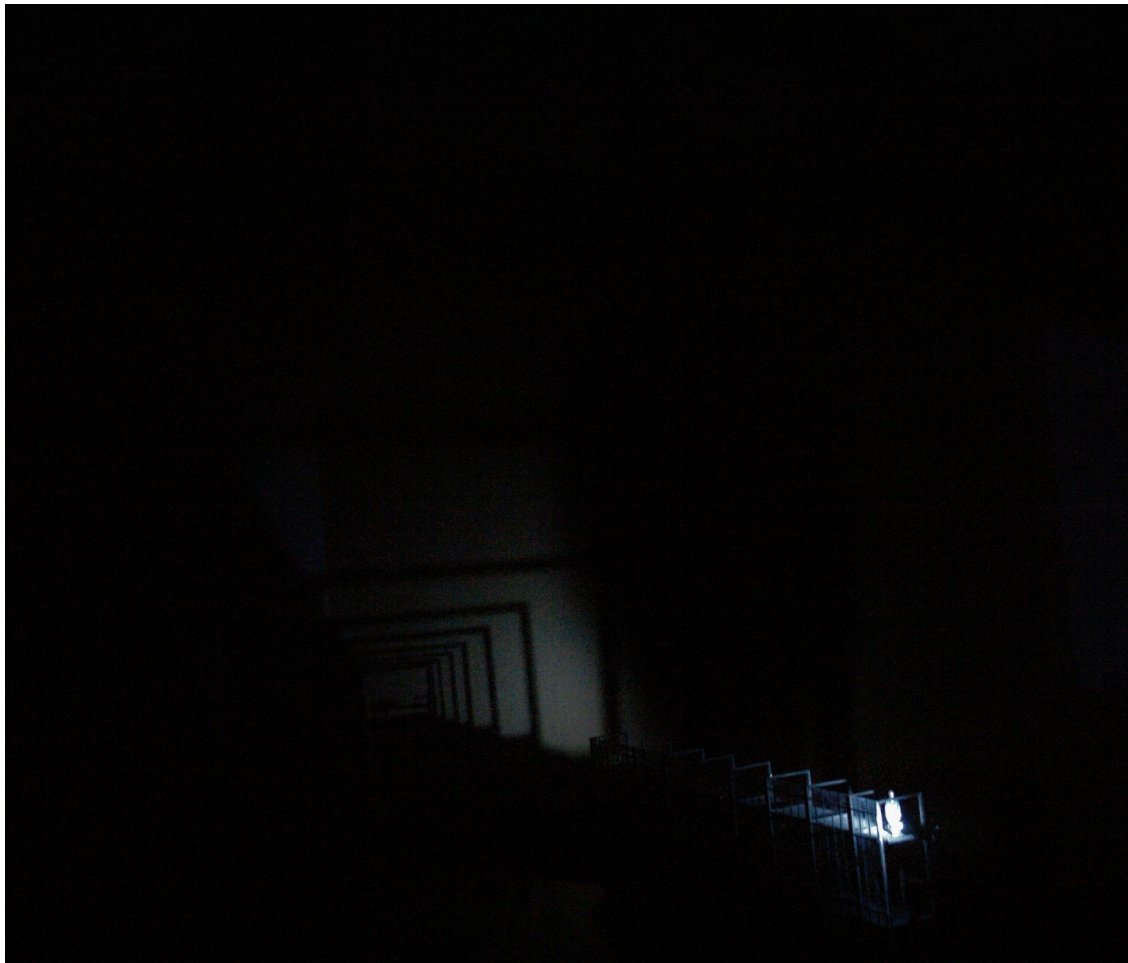


Figure 24 : L'homme au bout du couloir

Dans la photographie ci-dessus, j'ai installé au fond d'un couloir de la maquette d'immeuble un lit. Ce lit, étant positionné à une grande distance de la source lumineuse, est petit et très net. J'ai placé de l'autre côté du couloir, juste devant la source lumineuse, une silhouette d'homme se tenant debout. Celle-ci projette une ombre immense et floue. Dans un premier temps, on remarque ce lit vide au bout du couloir sur lequel notre attention semble se focaliser, puis on remarque la silhouette du gardien qui observe dans l'ombre. Ici le jeu d'échelle et de netteté crée le sens de la scène.



Figure 25 : Double point de vue

Sur cette photographie, on peut observer la superposition de plusieurs plans de lecture. La maquette est éclairée sur plusieurs étages par des LEDs de couleurs qui suggèrent une présence dans la maquette. La source de lumière au bout du bras projette, quant à elle, une scène qui se déroule au dernier étage. On a ici une vision globale, comme un plan large de cinéma, grâce à la maquette et un plan plus rapproché sur une partie de décor dont les ombres sont projetées sur l'écran. Cet exemple illustre bien la possibilité d'avoir plusieurs plans de lecture d'une même action au même moment comme le propose sous une autre forme le théâtre d'objet. L'utilisation de petites sources lumineuses dans la maquette me permet de rendre l'espace de la maquette habité et de suggérer des présences tout en gardant la possibilité d'avoir des ombres projetées sur l'écran. Je développe alors un système de contrôle de LEDs que j'installe dans la maquette avec une carte Arduino. Je détaillerai son fonctionnement en annexe 1. Afin d'isoler la scène projetée sur l'écran et de ne pas éclairer toute la maquette sans distinction, j'utilise divers cônes de papier pour diriger la lumière servant à cette projection.

La maquette et les projections offrent la possibilité de travailler sur deux diffusions sonores différentes qui peuvent communiquer et échanger. J'imagine alors placer dans la maquette un ensemble de micro-sources qui me permettent de créer un univers miniature dans lequel le son est lui aussi à cette échelle. Ainsi on pourrait assister à un échange entre deux personnes dans l'immeuble comme des spectateurs omniscients, tout puissants, les observant du dessus, dans leur intimité. D'un mouvement commun multi-médial, nous pourrions basculer dans l'univers des ombres, englobant et immersif, où les personnages jusque-là simples petites figurines dans une maquette deviendraient des ombres protéiformes en mouvement, le son serait, lui, diffusé de manière beaucoup plus large et éclatée, englobant le spectateur dans un tout autre rapport.

2.5 Le micro-monde sonore de la maquette

Pour commencer à travailler sur un monde sonore miniature lié à la maquette, il me faut commencer par créer un système de diffusion à cette échelle. Je veux cacher les sources dans la maquette et m'en servir comme sources ponctuelles pour créer un espace sonore que l'on puisse clairement localiser dans celle-ci. Je décide de rassembler un ensemble de haut-parleurs miniatures que je récupère dans de vieux appareils, des casques audio ou des écouteurs. Étant donné leur petit diamètre, je subodore que l'ensemble des basses fréquences sera plus difficile à reproduire que les hautes fréquences, voire impossible. Cela n'est pas forcément gênant et cela me permettra de conserver un contraste marqué avec le système de diffusion que j'utiliserai pour les ombres. Afin de ne pas être limité par la puissance électrique que je vais envoyer dans ces haut-parleurs qui ne sont pas construits pour la diffusion, j'utilise un amplificateur de puissance USA 400 pour mes premiers tests. Je fabrique des adaptateurs speakon* pour me permettre de relier les haut-parleurs à l'amplificateur. Je suis surpris par le niveau sonore que je peux obtenir sans distorsion de la part de ces petites membranes. Comme attendu, les basses fréquences sont quasiment inexistantes mais si l'on s'approche suffisamment de la source, à quelques centimètres, le spectre fréquentiel se complète et on se retrouve dans une situation comparable à une écoute au casque. Pour le moment, les haut-parleurs ne sont encastrés ni dans un plan ni dans une enceinte close, ce qui modifierait grandement le rendu acoustique.

En théorie, un haut-parleur est une source bidirectionnelle, c'est-à-dire qu'il diffuse du son dans deux directions, l'avant et l'arrière. Il se produit alors un « court-circuit » acoustique. L'onde arrière est en opposition de phase avec l'onde avant, ce qui produit une annulation de certaines fréquences. Les fréquences qui subissent ce court-circuit sont principalement les basses fréquences. Il existe plusieurs solutions pour annuler cet effet. Lorsqu'on place le haut-parleur dans une enceinte close, l'onde arrière est alors contenue dans le volume d'air, ce qui l'empêche d'interférer avec l'onde avant. Si le haut-parleur est simplement mis dans un plan, le temps que l'onde arrière arrive à l'avant, elle peut arriver en phase. Sachant que la taille du plan dépend de la longueur d'onde du son que l'on veut retarder car tout obstacle étant plus petit qu'une demi-longueur du son émis n'impacte pas le son. Par exemple, pour empêcher un court-circuit acoustique pour une fréquence basse de 340 Hz, il faudrait une surface de 50 cm ($1/2$ longueur d'onde = célérité du son / $2 \times$ fréquence).

Pour compléter ce système de diffusion, j'installe une enceinte amplifiée de douze pouces sous la

table qui complète la diffusion des autres sources dans les basses fréquences. En jouant sur des niveaux faibles et un léger retard du signal dans l'enceinte sous la table, je peux garder une bonne localisation des sons dans la maquette même si j'utilise l'enceinte de renfort.

Expérience dans la maquette

Après avoir installé mon système de diffusion dans la maquette que j'ai assemblée pour les expériences précédentes, je mets en jeu différentes matières sonores pour confirmer ma démarche. Je place quatre sources dans la maquette d'immeuble abandonné, deux écouteurs et deux autres haut-parleurs venant de deux casques différents. Dans un espace extérieur devant le bâtiment, j'installe une cinquième source provenant de l'un des casques. J'installe ces cinq haut-parleurs pour les traiter comme sources ponctuelles indépendantes. Enfin, j'installe deux haut-parleurs au fond du plateau de la table de part et d'autre de la maquette dans l'idée d'y diffuser des ambiances plus globales mais qui appartiennent tout de même à la maquette. J'installe l'enceinte de renfort de basse sous la table.

Je mets en jeu différentes matières sonores appartenant à des types de sons différents. Des ambiances, des sons ponctuels, des voix et de la musique. La première scène que je mets en son dans cette maquette est composée de sons que j'ai enregistrés :

- un monologue du Spectre issu de la pièce *Hamlet* de Shakespeare
- un son de pluie en extérieur
- un son de vaguelettes en bord de Saône, capturé en proximité
- un son de tonnerre
- une mélodie de violoncelle

Pour ce qui est des sons d'extérieur situant la scène un jour d'orage et de forte pluie, j'ai décidé d'utiliser les deux haut-parleurs du fond de la maquette qui donnent l'impression d'une source large qui recouvre toute la maquette. Ces sources me permettent de jouer sur un hors-champ à l'échelle de la maquette. J'utilise l'enceinte côté cour pour diffuser les coups de tonnerre au loin. L'ensemble des autres enceintes me sert à jouer avec le IN de la maquette. J'utilise l'enceinte située à l'extérieur du bâtiment pour diffuser le son de vaguelettes en proximité afin de rappeler la présence de la pluie dans la maquette elle-même. Cette source bien localisable me permet de créer de la perspective dans

la scène sonore que je propose. J'utilise les enceintes que j'ai installées dans la structure pour mettre en scène deux prises de paroles, l'une musicale et l'autre vocale. Je dispose de deux types de haut-parleurs, les deux premiers issus d'un casque audio et les deux autres d'écouteurs intra-auriculaires. Je remarque que les écouteurs étant plus petits peinent davantage à diffuser des basses fréquences mais disposent d'une meilleure localisation dans l'espace et un angle de directivité plus fermé. Suite à ces observations, je décide d'utiliser l'un des écouteurs pour diffuser la mélodie de violoncelle avec un traitement fréquentiel pour donner l'impression qu'une personne écoute un enregistrement dans l'immeuble. La voix est diffusée dans un des haut-parleurs venant du casque pour obtenir un son plus naturel et généreux dans les basses fréquences. J'utilise l'enceinte de renfort pour préciser la parole tout en retardant sa diffusion de quelques millisecondes pour garder la localisation du son dans l'immeuble en utilisant l'effet Haas*.

J'essaie ensuite d'autres scènes en déplaçant les types de matières sonores. La voix par exemple peut endosser différents rôles. Elle peut sortir du IN pour devenir une voix OFF diffusée dans les haut-parleurs du fond de la maquette ou dans plusieurs des haut-parleurs avec un effet d'écho qui crée une voix surnaturelle semblant présente partout à la fois. La musique peut se trouver à la place d'accompagnement de l'action dans le OFF ou comme faisant partie intégrante de l'action comme dans la première scène. Lorsque je diffuse un son très localisé dans une des enceintes, je peux également utiliser les autres sources pour recréer un champ acoustique avec des effets de réverbérations multicanaux ou d'autres traitements temporels. De la même façon, je peux élargir l'espace sonore de la maquette en utilisant une diffusion plus large autour du spectateur pour générer ce champ acoustique. Le micro-monde de la maquette se met alors à résonner à l'échelle du spectateur et nous laisse deviner un deuxième monde, plus immersif qui sera accompagné par les ombres.

2.6 Le monde sonore des ombres

En parallèle de la micro-diffusion sonore dans la maquette, j'imagine une diffusion sonore plus immersive appartenant au monde des ombres projetées sur un écran derrière cette maquette.

Dans une salle équipée de perches manuelles, j'installe un écran semi-circulaire autour de la table accueillant la maquette. J'imagine plusieurs dispositions d'enceintes en multidiffusion. L'objectif est de recréer un champ acoustique autour du spectateur et l'installation pour l'immerger dans un monde sonore et accompagner l'apparition des ombres qui envahissent l'espace hors de la maquette. Il existe plusieurs systèmes de diffusion qui permettent de reproduire cette sensation d'immersion. Certains systèmes comme l'ambisonie ou la technique de diffusion transaurale fonctionnent sur des principes physiques qui demandent à se trouver à une place spécifique par rapport aux enceintes. Cette zone d'écoute étant trop petite, je m'inspire plutôt d'une diffusion comparable au « Surround » utilisé au cinéma. Là encore, la zone d'écoute idéale ne peut contenir l'ensemble des spectateurs mais la localisation du son reste compréhensible dans une zone plus large. Un son venant de l'arrière sera toujours perçu comme tel quelle que soit la position de l'auditeur mais sa localisation précise entre les enceintes sera différente suivant la distance avec celle-ci. Tout comme la stéréophonie, ce principe de diffusion joue sur la différence interaurale de temps et d'intensité et propose une localisation du son sur un seul plan. La hauteur des enceintes définira la hauteur de sa source. Le principe de ce type de diffusion est de disposer les enceintes autour des spectateurs suivant une forme géométrique définie. Si l'on disposait une grande quantité de petites sources placées sur un cercle, on pourrait émettre un son avec précision autour de l'auditeur en créant une source fantôme entre les enceintes ainsi positionnées. Plus le nombre d'enceintes est important, plus la localisation est précise pour une grande zone d'écoute. Une autre technique de multidiffusion souvent utilisée en théâtre consiste à considérer une enceinte comme une source ponctuelle monophonique. Cela veut dire simplement que l'on place dans l'espace la source à l'endroit d'où le son doit provenir, il suffit ensuite de le diffuser dans cette enceinte. C'est le procédé que j'utilise pour certaines des sources dans la maquette. Pour cette seconde partie de la diffusion sonore liée au monde des ombres, je vais utiliser un mélange de deux techniques de diffusions, l'une venant du cinéma pour le « Surround » et l'autre du théâtre avec les sources ponctuelles.

Il existe une autre technique de reproduction de champ acoustique appelé la WFS (Wave Field

Synthesis). Cette technique demande une mise en place bien particulière d'un grand nombre d'enceintes sur une ligne. Les sons sont placés à l'aide d'un logiciel spécifique dans un espace virtuel derrière ou, dans une moindre mesure, devant la ligne d'enceintes. Les sources virtuelles sont reproduites par un processeur WFS qui distribue un signal spécifique dans chacune des enceintes. L'avantage avec cette technique est que la zone d'écoute est très large et la localisation des sons peut être très précise. Il m'est impossible de mettre en place une telle installation dans le cadre de ce mémoire, mais cela serait une alternative intéressante pour la localisation de sons dans la maquette. En installant une ligne d'enceintes à l'échelle de la maquette devant celles-ci et en utilisant un processeur WFS, cela me permettrait de placer un grand nombre de sources virtuelles dans l'espace de la maquette sans avoir à placer de réels haut-parleurs.

Je mets en place quatre enceintes autour du public et de mon installation à hauteur de la tête d'une personne assise. Cette disposition d'enceintes me permet de diffuser des sons localisés autour du public et venant de l'espace de projection. Je peux alors reprendre les sons diffusés dans la maquette à l'échelle du spectateur pour le faire entrer dans cet espace. Je pourrais travailler avec d'autres sons pour proposer une autre lecture d'un espace proposé par la maquette et les ombres.

A cet endroit de recherche sonore, je reviens sur une idée intéressante que j'ai exprimée lors de l'atelier son-écriture en novembre⁵⁵. La mise en scène du son me permet de diriger le regard, de faire évoluer une dramaturgie dans un dispositif statique. La maquette et l'installation scénographique qu'elle contient restant immobiles, c'est le son et sa diffusion qui vont dans un premier temps guider le spectateur à travers la maquette.

« Dans *Mon Oncle*⁵⁶ à la suite d'un plan général dans lequel apparaît au loin M.Arpel buvant son café, il n'enchaîne pas avec un plan de détail montrant la petite cuillère qui tourne dans la tasse mais choisit de nous le faire entendre par le seul son de l'objet placé sur le plan d'ensemble silencieux. Alors que dans ce même plan les arbres sont agités par le vent, aucune ambiance ni fond d'air... seule 'la tasse de café' sonne. Et comment est-elle offerte ? Non pas 'raccord' au format du plan et à sa place dans l'espace, assavoir éloignée : elle est enregistrée en proximité et diffusée assez fort. Voilà une façon magistrale de nous conduire, sans que quiconque s'en rende compte, puisque le sonore semble toujours 'induit' par l'image. »⁵⁷

Dans cet exemple, on opère un zoom sur le personnage qui boit cette tasse de café, cette scène n'est pas strictement réaliste par rapport au cadre de la prise de vue mais ce subterfuge nous plonge aux côtés de l'acteur malgré notre réelle distance. Dans mon installation, je peux faire « entrer le spectateur dans la maquette » avec, par exemple, un zoom sonore sur la voix du spectre et la mélodie de violoncelle qui étaient situés dans l'immeuble. Le premier ensemble d'enceintes intégré à la maquette me permet de situer l'action dans celle-ci et le second ensemble d'enceintes d'inviter le spectateur à entrer dans cette maquette par une diffusion à l'échelle de l'auditeur.

55 - Cf. supra, Chap n° 2.1.

56 - TATI, Jacques, *mon oncle*, 1958. Tu ne l'as pas déjà cité ? si oui, indique *op. cit.*

57 - DESHAYS, Daniel, *Entendre le cinéma*, Paris, Klincksieck, coll. « 50 questions », 2010, p. 76.

2.7 Le bras-robot Ergo-Jr

Durant le 8^{ème} festival "Science et Manga" consacré aux robots, je rencontre Julien JEHL de l'entreprise Roboticia lors d'un atelier autour de différents robots conçus par cette entreprise. Je m'intéresse à plusieurs des bras robots présents sur cet atelier pour me permettre de poursuivre les expériences que j'ai menées en novembre avec un objet robotisé plus solide et précis susceptible de me permettre de poursuivre mes recherches. L'un des robots proposés par cette entreprise est un bras équipé de six moteurs, ce qui lui permet d'avoir six degrés de liberté et d'atteindre ainsi n'importe quel point de l'espace autour de lui avec l'orientation voulue. Les possibilités de mouvements que ce robot propose sont bien plus grandes que l'applique que j'ai fabriquée précédemment. Il utilise des moteurs « Dynamixel XL-320 », petits servomoteurs conçus pour la robotique présentant plusieurs avantages. Le principal étant qu'ils sont équipés d'un capteur magnétique permettant de connaître la position du moteur à tout moment. Grâce à cette fonctionnalité, il est possible de mettre en mouvement le robot manuellement, d'enregistrer les valeurs de ce mouvement et ainsi de reproduire ce mouvement à l'identique. On peut imaginer toutes sortes d'applications à cette fonctionnalité. A mon avis, elle me permet d'écrire des mouvements complexes sans avoir à programmer le mouvement de chaque moteur pour chaque mouvement. Ce robot est basé sur la plate-forme open source « Poppy » qui a développé une interface de programmation logicielle en langage Python ou avec le langage visuel de programmation « Snap! ». Il est contrôlé par un microprocesseur Raspberry Pi avec lequel il est possible de communiquer via un serveur web local dédié. L'entreprise Roboticia a développé un module supplémentaire composé d'une LED de haute puissance et d'un microprocesseur Arduino installé à l'extrémité du bras. Cet ajout correspondant tout à fait à mon projet me conforte dans l'utilisation de ce robot. Ce robot est très utilisé dans l'éducation à la programmation et dans certains projets de recherche artistique. J'ai pu manipuler ce robot lors du festival Science et Manga et me rendre compte des possibilités de mouvements qu'il

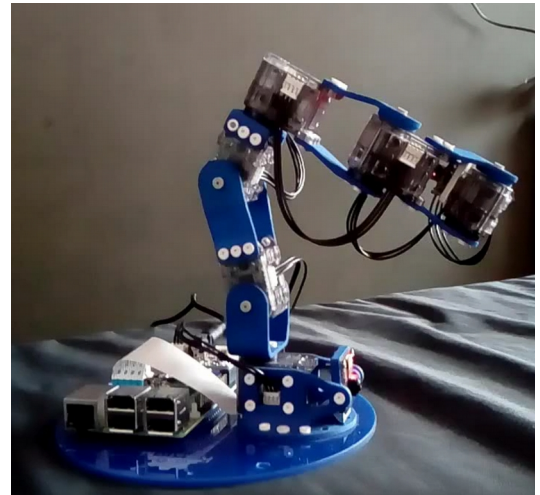


Figure 26 : Ergo Jr

offrait. J'ai eu envie de travailler avec cet objet pour enrichir la rédaction de ce mémoire.

L'interface web utilisée pour contrôler le robot est pensée pour la création de programmes visant à donner un comportement spécifique au robot. En programmant un comportement, il peut effectuer une chorégraphie de mouvements définis ou réagir en fonction de capteurs comme la caméra intégrée à la base du bras. Je considère que l'utilisation de capteurs pour créer une interactivité entre la machine et un acteur est un principe très intéressant où l'on retrouve l'autonomie que je cherchais dans mes premières expériences, mais je n'aurai pas l'occasion de la développer dans le cadre de ce mémoire. L'utilisation de capteurs et la programmation de comportements pouvant réagir à une présence extérieure exigent une longue période de développement dont je ne dispose pas pour le moment. Pour satisfaire l'étude de mon mémoire, il me faut créer un échange de données entre le robot et le logiciel de programmation MAX7 avec lequel je contrôle les autres médias comme le son et la lumière. En effet, pour fonctionner avec mon idée de création sonore « orientée objet », il me faut lier le son au mouvement du robot⁵⁸. Je prends donc le contrôle du robot depuis MAX7. Ce processus étant très technique mais pouvant servir à de futurs utilisateurs de ce robot avec MAX7, je développerai la démarche d'échange de données en annexe 2.

L'une des difficultés qui surgit dès que l'on veut travailler avec des robots est que l'objet en lui-même demande une connaissance technique très spécifique liée au fait que sa présence n'est pas développée dans le monde du spectacle. De ce fait, les outils pour prendre le contrôle de cet objet ne sont pas adaptés à l'utilisation de spectacle. Il est nécessaire de fabriquer ses propres outils et d'appréhender le fonctionnement du robot souvent complexe, tel qu'il a été conçu par des spécialistes de la robotique. Les contraintes techniques liées à la machine et à sa conception peuvent induire des choix dramaturgiques majeurs. Par exemple, dans la forme que je prépare, la taille du robot, l'orientation des moteurs et l'allonge maximale qu'il peut avoir définissent les limites de positionnement de la source de lumière et donc des espaces que je peux projeter en ombre.

« Cette pièce dure vingt minutes. Pourquoi ? Parce que la batterie des robots ne tient pas au-delà ! »⁵⁹

58 - Cf. supra. Chap. n°1.6.

59 - HIRATA, Oriza, «*Le théâtre et les robots*», *Agôn [En ligne]*, *Points de vue & perspectives*, *op. cit.*

2.8 Travail dramaturgique

Tout au long de ma recherche et de mes expérimentations, j'ai mené une réflexion dramaturgique avec Lisiane DURAND sur la forme que je prépare, et la place de l'objet robot dans celle-ci qui est pour moi très importante. Cette pensée s'est élaborée au fur et à mesure de différentes discussions avec Lisiane ou d'autres intervenants de l'ENSATT, et elle a beaucoup évolué en fonction des contraintes imposées par le plateau. Cet aller-retour entre une idée et la réalisation effective de celle-ci avec les outils et les contraintes techniques associées est symptomatique de mon travail de recherche. Il s'agit constamment de confronter de nouvelles idées avec la réalité du plateau qui propose de nouvelles pistes de réflexion.

L'une des premières idées développées lors de l'atelier son-écriture est partie de l'objet lampe-robot que j'ai créée. La place de cette lampe est la première question que je me suis posée. Quel est le statut de cette lampe, à quel imaginaire renvoie-t-elle et quels sont ses enjeux ? À quoi sert-elle ? La chose qui m'intéresse le plus à ce moment de ma recherche est la possibilité de parler de la multiplicité des points de vue et des regards que l'on porte sur une situation. L'objet que j'ai créé me fait penser à une lampe de bureau et à l'univers de l'enquête et de la résolution d'énigmes qui résonne chez moi avec l'envie de parler de cette pluralité de regards et de manières de voir le monde qui caractérise les êtres humains. En effet, un enquêteur ne peut se contenter d'un seul témoignage pour faire son travail, il se doit d'étudier l'affaire sous tous les angles. J'imagine alors utiliser la lampe comme un compagnon posé sur une table dont le rôle serait de donner un éclairage différent sur des questionnements liés à une enquête. Une maquette pourrait être posée sur le bureau de l'enquêteur et la projection des ombres pourrait nous faire revivre certaines scènes comme des reconstitutions de scènes passées qui donnent des indices sur le mystère à résoudre. L'utilisation des sources sonores dans la maquette permet de réaliser des scènes à l'intérieur même de la maquette. Il existe une différence sur la forme des scènes dans la maquette ou projetées sur l'écran. Les projections d'ombres pourraient symboliser une incertitude, une hypothèse sur ce qu'il se serait passé, imaginé par l'enquêteur et la lampe, tandis que les scènes dans la maquette seraient plus réalistes et reprendraient le témoignage d'un témoin. Avec l'aide de Lisiane, je me suis intéressé à la forme du roman d'enquête et du polar. Nous pensions dans un premier temps extraire un canevas de lectures pour créer une enquête originale à mettre en scène avec mon installation. Cette première idée étant très ambitieuse au vu du temps imparti avant la soutenance de ce mémoire, nous avons

mis de côté le monde de l'enquête pour nous diriger vers une nouvelle idée. En effet, le travail dramaturgique pour créer une telle forme demanderait un investissement trop important en parallèle des enjeux techniques et sonores que je développe pour ce mémoire de recherche. Cette forme nécessiterait un temps important de travail avec un acteur, une fois tous les outils techniques mis en place, ce qui n'est pas encore le cas. Je reste néanmoins intéressé par l'univers de l'enquête qui me semble prometteur dans un deuxième temps pour un travail issu de cette recherche.

Afin de nous concentrer sur l'essentiel, nous sommes repartis des éléments techniques que je possède à ce moment-là. Une maquette d'une façade d'immeuble prêtée par Lisalou EYSSAUTIER, un bras robotisé Ergo-Jr et une surface de projection semi-circulaire autour de cette installation. En parlant de situations qui pourraient prendre place dans cet immeuble ressemblant à une usine désaffectée, nous évoquons les pratiques de squattage de lieux abandonnées qui, avant d'être rachetés par une grande entreprise et détruits pour construire de nouveaux logements sociaux, sont visités et occupés par différents types de personnes, je me rappelle un palais que j'ai visité quelques années plus tôt dans le sud de l'Espagne.

Le Palais de l'Alhambra situé dans la ville de Grenade présente la particularité d'avoir été occupé par des personnes très différentes au fil des siècles. Ce palais fut construit comme un fort militaire puis occupé par les rois de Grenade au XIII^{ème} siècle. Il s'agissait du royaume nasride, une dynastie arabe musulmane qui dirigeait la ville à cette époque. En 1492, la ville est prise par les Rois Catholiques qui réaménagent les lieux et construisent un palais à l'allure franchement modifiée sans pour autant détruire les constructions précédentes. Durant les XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècles l'Alhambra est abandonnée et les salles et chambres des palais utilisées comme habitations et écuries par les populations gitanes. Au début du XIX^{ème}, les lieux ont été investis par les troupes napoléoniennes. Enfin, en 1870, l'Alhambra est déclaré monument national puis inscrit au patrimoine de L'UNESCO en 1984, site désormais historique très touristique. Ce qui est frappant dans la visite de ce palais est que chaque occupant y a laissé son empreinte, ce même endroit a vu passer des peuples très différents au fil des siècles, signant sa richesse historique.

Un grand nombre de lieux plus communs que le palais de l'Alhambra sont souvent réutilisés dans un but différent de celui prévu lors de sa construction, comme des usines qui deviennent des lieux de résidences artistiques ou d'anciens moulinages réaménagés en logements, etc. L'idée surgit dans ma recherche d'explorer un lieu avec mon dispositif par la traversée d'une multitude d'espaces et de temps sans changer de lieu. Cette fois, c'est l'objet maquette le point de départ de cette idée, je me

pose la question de la place du bras robot. Pour moi, il est toujours essentiel de considérer ce robot comme un personnage avec son identité sonore et visuelle. Tout comme les bâtiments, les machines ne meurent pas, elles s'usent et disparaissent uniquement si elles sont abandonnées par l'Homme. Dans cette installation, le bras robot adopte une position de chroniqueur qui nous propose un voyage à travers les époques et les différentes utilisations de l'immeuble. Il est hors de la réalité de la maquette car il ne correspond pas à toutes les époques que j'ai envie de traverser et il n'est pas à l'échelle, mais il est témoin d'une certaine utilisation du bâtiment ou d'une époque traversée. Si l'on imagine que le bâtiment fut construit au début du XX^{ème} siècle en tant qu'usine de fabrication de moteurs à vapeur, le robot peut avoir des mouvements répétitifs et précis comme un robot industriel et afficher une identité sonore construite à partir de sons de vapeurs et d'engrenages mécaniques. Même si le robot n'existait pas à cette époque, il fait appel à l'imaginaire de l'usine par ses mouvements et son identité sonore.

Avec Lisiane, j'imagine la vie de cet immeuble représenté par la maquette. Après son inauguration au début du XX^{ème} siècle en tant qu'usine, ce lieu est réquisitionné pendant la guerre pour servir d'hôpital. Par la suite, il est abandonné, visité par des amateurs d'urbex puis squatté, ce qui en fait un haut lieu de la culture underground. Ce bâtiment racheté par la ville est désormais un lieu de résidence artistique dédié aux arts numériques. Pour la soutenance de ce mémoire de recherche, je pense créer une forme qui nous fera voyager à travers plusieurs de ces espaces et temps différents.

Conclusion

Ce mémoire est le témoignage d'un parcours né d'une envie : explorer la forme théâtrale à travers un objet qui me fascine, le robot. Un objet composé de matière inerte mais qui, se mettant en mouvement, semble subitement incarner un personnage. En recherchant dans l'Histoire les sources de ce pouvoir d'incarnation et de fascination, nous sommes remontés à l'origine de la civilisation humaine. Le fantasme de créer une créature artificielle, un autre comme soi, semble avoir été présent de tout temps. Nous avons pu voir comment ce fantasme s'incarne selon les époques à travers les mythes puis dans les différentes œuvres de fictions et par toutes sortes d'automates évoluant suivant les technologies, pour aboutir aux robots et aux questions spécifiques qu'ils posent aujourd'hui. Par la suite, nous avons exploré l'imaginaire qu'offre le robot à travers plusieurs grandes tendances, liées d'un côté à un héritage antique interdisant de créer toute vie artificielle sous peine d'un châtiment divin, et de l'autre à une fascination pour ces créatures avec lesquelles il faudrait apprendre à cohabiter.

Avant de se lancer sur les sentiers de la création artistique, nous avons pu voir à travers plusieurs exemples la présence des robots dans certains spectacles contemporains, la place qu'ils pouvaient occuper et les enjeux qui leur sont liés.

L'un des enjeux qui résonne particulièrement avec ma recherche est de travailler sur l'identité du robot afin de le rendre "vivant" grâce à l'utilisation des médias composant l'outil théâtre, en particulier la lumière et le son. Cette démarche qui fait écho à une pratique que j'ai pu exercer dans le domaine du cinéma d'animation m'a amené à me questionner sur un processus et des outils propices à la création d'une identité sonore pour un personnage robot. C'est ce que j'ai appelé la création sonore « orientée objet ». C'est ici le premier point important de ma recherche concernant la création sonore. Cette autonomie que je cherche dans l'identité sonore du robot est caractéristique de l'objet en lui-même. C'est l'une des caractéristiques fondamentales du robot qui m'a fasciné dès le début de ma recherche. Je me suis intéressé à cette notion d'autonomie qui peut rendre un objet jouant et interactif sur un plateau et qui est très intéressante dans un processus de création même si la réelle autonomie n'est pas le choix retenu lorsque le spectacle est construit. J'ai poursuivi ces questionnements à travers plusieurs expériences qui m'ont apporté autant de réponses que de nouvelles pistes à explorer en lien à cet objet. L'utilisation d'une lampe robot pour mes expériences m'a fait entrer spontanément dans le monde des ombres projetées. Ce robot a la capacité de nous

offrir l'image de différents points de vue et de proposer grâce à son mouvement des projections d'ombres à la frontière avec le cinéma. Je me retrouve au croisement de plusieurs influences, le théâtre de robots, le théâtre d'objets, l'art des ombres et le cinéma d'animation.

J'ai ressenti l'envie et la nécessité de poursuivre mon chemin dans la création d'une forme artistique mêlant toutes ces influences. Je suis parti en quête d'un dispositif scénographique et sonore pour mettre en application certaines des découvertes que j'ai réalisées lors de mes expérimentations. C'est en parallèle d'une pensée de l'espace que j'ai imaginé une diffusion sonore suivant deux mondes. Un micro-monde lié à une maquette et un macro-monde lié aux projections d'ombres. Cette mise en scène du son à travers ce double dispositif de diffusion est centrale dans l'installation et constitue un autre versant de ma pensée du son dans ce mémoire.

Enfin, nous avons pu voir quelques éléments constituant le travail que j'ai commencé à réaliser pour créer la forme que je présenterai pour la soutenance de ce mémoire, à travers la présentation du bras robot Ergo-Jr ainsi que le travail dramaturgique que j'ai mené en parallèle de cette recherche.

Le parcours que j'ai commencé lors de l'élaboration de ce mémoire n'est pour moi qu'un début de recherche que je compte vivement poursuivre. Il s'agit d'une étape de travail que je présenterai pour la soutenance de ce mémoire qui comporte des éléments qu'il m'intéresse de développer pour la création d'un futur spectacle.

ANNEXES

Annexe 1 :

Atelier 1 - Contrôle de LEDs

L'objectif de ce premier atelier est de pouvoir contrôler l'allumage d'une série de LEDs, indépendamment les unes des autres depuis le logiciel de programmation MAX7. Je vais utiliser une carte Arduino pour piloter les LEDs en utilisant une sortie de la carte par LEDs. Avec une carte Arduino UNO, on a un courant maximal en sortie de 40mA, 20mA étant conseillé. Les LEDs que j'utilise ne consomment pas plus de 20mA. La tension de sortie est de 5V, j'installe en parallèle de chaque LED la résistance me permettant de limiter la tension aux bornes de la LED à sa tension idéale. Si par la suite, je trouve la lumière produite par la LED trop puissante, il suffit de remplacer la résistance par une autre ayant une plus grande valeur. Le calcul de cette résistance s'effectue comme suit : $R = (U_{\text{arduino}} - U_{\text{led}} / I)$. La valeur de U_{led} est légèrement différente suivant la couleur.

Une fois le câblage réalisé, il me faut créer le mode de connexion entre la carte Arduino et mon ordinateur équipé de MAX7. J'utilise la connexion USB de type sériel pour communiquer. La carte Arduino doit être en attente d'une communication sur le bus série et lorsqu'il reçoit l'ordre d'allumer ou d'éteindre une LED, elle met la sortie correspondante à l'état HAUT, le courant passe par la sortie et la LED s'allume. Pour être certain que la communication s'effectue bien, il faut choisir un caractère spécifique qui ne sera pas utilisé dans les ordres d'allumages de la LED pour informer la carte Arduino que les ordres arrivent. Dans MAX7, j'utilise l'objet « serial » sur le port correspondant à la carte Arduino, et j'envoie une trame sur le bus USB correspondant à trois valeurs :

- 1 – Je préviens que l'ordre va arriver (avec le caractère *)
- 2 – Je donne l'ordre d'allumage (0 pour éteindre et 1 pour allumer)
- 3 – Je précise la LED concernée par l'ordre (de 1 à 12)

Les différents nombres étant considérés par la carte Arduino comme des caractères, il me faut envoyer leur code ASCII. Pour allumer la LED 2 j'enverrai : « * 1 2 » (en code ASCII : 42 49 50)

Annexe 2

Atelier 2 – Contrôle du robot avec MAX7

Dans ce second atelier, l'objectif est de récupérer les données de position des moteurs du bras robot dans le logiciel de programmation MAX7 et de pouvoir les commander depuis ce même logiciel. En récupérant les valeurs des différents moteurs, il me sera possible de commander la lecture du son et ainsi de créer une identité sonore du robot.⁶⁰ Il me sera possible d'enregistrer les mouvements du robot que je manipule manuellement pour ensuite les rejouer depuis MAX7.

Pour échanger des données entre le robot (commandé par un microprocesseur Raspberry-Pi) et le logiciel MAX7, je vais utiliser un réseau local. Il est possible d'activer un serveur REST API sur la carte Raspberry-Pi qui contient toutes les données liés au robot. Il s'agit d'un serveur web sur lequel il est possible d'effectuer des requêtes en utilisant le protocole HTTP. Il suffit d'être sur le même réseau que le serveur, il est possible d'envoyer une requête de type GET pour récupérer une valeur sur ce serveur ou une requête POST pour en modifier une autre. Ainsi par ce principe, il est possible de prendre le total contrôle du robot depuis un autre logiciel, il suffit qu'il soit capable de communiquer via le protocole HTTP en précisant l'URL correspondant à la donnée souhaitée.

Le logiciel MAX7 possède la possibilité d'effectuer de telles requêtes avec l'objet : « maxurl »⁶¹. Par exemple, si je veux récupérer la position du premier moteur, j'effectue la requête suivante :

get http://roboticia-uno-01.local:8080/motor/m1/register/present_position

Je reçois alors un fichier en réponse duquel j'extrais la valeur du moteur m1, il me suffit ensuite de déclencher cette requête avec un intervalle de temps régulier pour l'enregistrer dans une mémoire et ainsi enregistrer un mouvement. Pour l'enregistrement du mouvement, j'utilise un séquenceur MIDI (objet max « seq ») pour écrire les variations des six moteurs simultanément comme six contrôleurs midi. Le mouvement est enregistré sur un unique fichier midi qu'il est possible d'éditer avec n'importe quelle station audionumérique.

Pour écrire la nouvelle valeur du moteur, j'effectue le cheminement inverse. Le séquenceur MIDI lit le fichier du mouvement préalablement enregistré, puis j'encapsule les données de positions des moteurs dans un fichier envoyé par une requête de type POST à l'URL correspondante. Avec ce système, il est possible de lire ou de modifier différentes valeurs comme la couleur des petites LEDs intégrées aux moteurs.

Je pourrai ensuite créer avec le logiciel MAX7 un outil de régie adapté avec lequel je peux contrôler les mouvements du robot, le son et la lumière.

60 - Cf. supra. Chap. n°1.6.

61 - Documentation maxurl : <https://docs.cycling74.com/max7/maxobject/maxurl>

Annexe 3 :

Extrait - Entretien avec Aurélien BORY

à l'ENSATT le 24 mai 2017

Le monde sonore du spectacle *Sans Objet*

Robert Benz : Dans *Sans Objet*, comment avez-vous travaillé avec le son pour rendre le robot vivant et pour lui donner une identité ?

Aurélien Bory : Oui, c'est d'ailleurs avec cette pièce que j'ai vraiment commencé à systématiser le fait de mettre des micros partout. Ça existe depuis mon premier spectacle mais c'est avec *Sans Objet* que j'ai vraiment mis ce principe à l'œuvre. C'est aller chercher le son des différents moteurs du robot, aller chercher le son de la bâche et faire en sorte de coller l'oreille. C'est juste aller chercher les sons là où ils sont et d'entendre le côté micro du son, le mécanisme intérieur. Aller chercher par le son l'intériorité de l'espace. Ça permet de rendre vivant l'espace. Ça fait des bruits étranges, des respirations qui sont complètement collées à l'action. Et en même temps on les retravaille beaucoup. Une fois que l'on a mis en place ce principe, on va chercher le son mais ce n'est pas le son brut. On lui donne une couleur, on le filtre, on le travaille un peu comme on travaillerait une matière. C'est déjà une représentation, ce n'est pas qu'une collecte de son, on travaille ensuite le son voire en ajoutant d'autres sons qui sont collés, mélangés à ce son mais qui sont vraiment identifiés comme appartenant à la machine.

Spécifiquement sur *Sans Objet*, j'ai remarqué que l'installation et le spectacle fonctionnent différemment. Dans l'installation, il n'y a que les sons qui sortent du micro et les traitements associés alors que dans le spectacle, il y a les compositions musicales qui ajoutent à la narration, à un certain ton, à une certaine mélancolie. En plus, le compositeur est parti d'un principe extérieur, ne prendre que la basse électrique comme générateur de tous les sons. Mais sur la machine, les bruits étaient très présents. Le bruit de la bâche, de tous les moteurs, du système pneumatique, du connecteur... Tout ça était l'occasion pour moi de faire sens avec tous ces bruits qui sont du réel, je ne les ai pas inventés, je n'ai pas voulu de « clac », ils sont dans la machine, dans l'unité centrale, dans les matériaux que j'utilise. Je vais juste m'en servir comme matière sonore, elle devient quelque chose de très organique. L'espace commence à avoir un corps par le son. Le son dit beaucoup de choses à ce moment-là, si ce son n'existait pas, on serait un petit peu plus loin du corps. Le corps du robot, de l'espace. Le son nous rapproche l'espace du côté du vivant.

RB : Lorsqu'il s'agit d'amplifier certains sons et de les modifier ensuite, cherchez-vous une matière particulière ou à en faire quelque chose de musical ?

AB : Non, c'est toujours lié à une organicité, c'est lié à l'action, à la figure du robot. On lit vraiment dans le spectacle le son que fait le robot. Dans la représentation, il est clair pour le spectateur que c'est le son que fait cette machine, avec ses moteurs... Ce n'est pas un son qui constituerait une matière et dont on ignorerait la provenance, c'est plutôt le rôle de la musique qui vient remplir

l'espace et lui donner une couleur. Alors que sur ces sons-là, on est vraiment proches du corps, de l'acteur, de celui qui agit. Quand je donne du son à l'espace, il devient alors un protagoniste, un personnage. Pour qu'il devienne protagoniste, il faut qu'on l'entende, si l'on n'entend pas l'espace, c'est une image.

L'idée, c'est de faire feu de tout bois, de faire quelque chose de cette matière sonore pour que ça joue et qu'elle joue également sur l'interprète. Ce n'est pas du tout la même menace, un espace qui gronde ou un espace qui se tait. C'est révéler par le son la vraie nature des éléments en jeu. C'est pour cela que je trouve que le son est du côté qui rend vivant l'espace, l'action qui se déploie devant nous, les mouvements, s'ils ont un son, ça ajoute beaucoup. Ensuite, si on trouve ce son intéressant, on le modifie. On le manipule comme tout le reste. On part du réel mais au final c'est quand même une représentation. Ne serait-ce qu'amplifier, donc souligner, c'est déjà choisir. Exagérer un petit bruit et le mettre au premier plan, c'est déjà de la représentation. Ça me paraît être la même chose que l'on fait avec l'acteur, avec le travail du corps. On essaie de souligner, d'amplifier, de modifier certaines perceptions. Le son est un peu dans la même démarche avec sa force propre : le son est impressionnant, il produit des impressions, ce sont ces impressions que je recherche.

Annexe 4 :

Extrait - Entretien avec Christian Laroche

Entretien téléphonique le 19 mai 2017

Constructeur de robots pour les spectacles *Sun* et *Reset* de Cyril Teste

CL : Petite curiosité, avez-vous estimé l'ancienneté de l'utilisation des robots dans le théâtre ?

RB : J'en ai fait un peu l'historique, en fait, je suis remonté plus loin que les robots, je suis remonté aux automates hydrauliques puis à la mécanique horlogère, mais le robot en lui-même, je ne sais pas.

CL : Parce que je ne sais pas si j'étais le premier ou pas mais dans les années 80, j'ai fait un robot qui s'appelait Thalos pour une pièce de théâtre. De prime abord, ils voulaient faire un androïde donc je leur ai fait une sculpture que j'ai motorisée, qui circule sur scène, c'était assez nouveau à l'époque. Il était télécommandé, il avait un programme, un ordinateur, ça venait tout juste de sortir, ça avait été une belle commande.

RB : Et c'est votre métier de construire des robots ?

CL : Tout à fait, mais uniquement dans le champ artistique, je travaille pour des artistes, pour le théâtre... que pour l'art et la beauté des machines.

RB : Sur le spectacle avec Cyril Teste, le robot araignée était télécommandé ?

CL : Oui, le robot araignée était télécommandé. C'est souvent télécommandé parce que les objets ne peuvent pas être synchros avec le danseur ou l'acteur. Parce que l'acteur ou le danseur est calé par rapport à la musique donc il ne peut pas se caler par rapport au robot, du coup c'est quelqu'un d'extérieur qui cale le robot. Pour Thalos c'était une télécommande qui ralentissait ou augmentait la vitesse du robot alors que pour le ballon ou l'araignée de Cyril Teste, le pilotage est complet.

RB : Pour l'araignée, j'ai vu un extrait, mais le ballon était utilisé dans quel contexte ?

CL : C'était un ballon, comme un ballon de football, un gamin jouait avec, c'est dans la pièce *RESET* et d'un seul coup, c'est le ballon qui se met à jouer avec l'enfant. Il est motorisé à l'intérieur, la réalisation a été complexe, on jurerait un ballon, on se rend pas du tout compte que c'est un robot. Par contre, quand il se met à bouger évidemment, on se rend compte qu'il y a quelque chose mais les gens s'imaginent toujours des trucs complètement loufoques. Une personne me disait : « vous avez mis un aimant sous la scène ? ». La motorisation était vraiment très belle.

RB : Et dans le cas du robot araignée, vous l'avez créé de toutes pièces ou c'était un achat ?

CL : J'ai acheté un kit car ça correspondait déjà à ce que l'on voulait, mais je l'ai customisé pour qu'elle ait cette apparence toute noire, le câblage d'origine n'était pas très beau et je l'ai reprogrammée pour pouvoir faire des figures spéciales. On déclenche à distance des comportements, sinon ça serait trop compliqué à gérer donc elle a déjà des figures enregistrées, on lance une figure et on peut modifier cette gestuelle en temps réel suivant des paramètres définis. C'est une sorte de chorégraphie que l'on déclenche manuellement.

RB : Pendant la création, est-ce qu'il s'est posé la question d'utiliser des capteurs pour la rendre autonome ?

CL : Non, car finalement le résultat est que les gens imaginent que l'araignée réagit par rapport à l'acteur alors que tout est scénarisé. On l'avait montré à un festival, j'avais un complice qui jouait avec l'araignée, l'araignée prenait peur, revenait vers lui, dès qu'il approchait la main, elle bougeait les pattes d'une certaine façon ... Ce qui était incroyable c'est que les gens me voyaient avec la télécommande, j'étais à six mètres d'elle mais la première chose qu'ils me demandaient c'était : « mais quels capteurs utilisez-vous pour qu'elle détecte à ce point la présence de l'acteur ? » Mais ils me voyaient la télécommande en main ! Il n'y a pas de capteurs.

RB : Le public avait vraiment envie de croire que le robot réagissait de lui-même.

CL : Tout à fait, ça en donne totalement l'illusion, même mieux car un capteur ça aurait été impossible à faire par rapport à toutes les figures que l'araignée prenait. Les spectateurs pensaient bien que je manipulais des choses mais il y avait une telle réactivité qu'ils ne pensaient pas que je puisse tout faire avec la télécommande. Alors effectivement il y avait des figures programmées. Avec la vingtaine de moteurs je ne pouvais pas tous les commander manuellement.

Table des illustrations

Couverture : BENZ, Robert, *Couverture*, 2017, ENSATT, Photographie.

Figure 1 (p. 14) : Inconnu, *Schéma hypothétique de l'appareil digestif du canard de Vaucanson par un spectateur américain*, 1738, gravure, https://fr.wikipedia.org/wiki/Canard_dig%C3%A9rateur#/media/File:Duck_of_Vaucanson.jpg.

Figure 2 (p. 17) : KUKA Aktiengesellschaft, Bras robot industriel LBR iiwa, 2014, Photographie, <https://www.kuka.com/>.

Figure 3 (p. 17) : DUREUIL Philippe /TOMA, Robot Pepper, 2016, Photographie, <https://www.ald.softbankrobotics.com/fr/presse/galerie/pepper>.

Figure 4 (p. 17) : Inconnu, Robot lego Mindstor, <http://blog.tmcnet.com/robotics/AlphaRex.jpg>.

Figure 5 (p. 23) : Inconnu, La vallée de l'étrange définit par Masahiro Mori, Schéma, https://fr.wikipedia.org/wiki/Vall%C3%A9e_d%C3%A9rangeante#/media/File:Mori_Uncanny_Valley_fr.svg.

Figure 6 (p. 25) : PHILIPPE, Laurent, *ROBOT – Blanca LI*, Photographie, <http://www.blancali.com/fr/gallery/38/ROBOT-par-Laurent-Philippe>.

Figure 7 (p. 25) : Inconnu, Felix Machines, 2014, Photographie, <http://felixsmachines.com/#prettyPhoto>.

Figure 8 (p. 27) : BORY, Aglaé, Sans objet – Aurélien BORY, 2009, Photographie, <http://www.cie111.com/spectacles/sans-objet/>.

Figure 9 (p. 36) : Inconnu, Laboratoire de l'inquiétante étrangeté – Gnômôn, 2012, Dessin, <https://www.facebook.com/LIELaboratoiredelinquietanteetrangete/photos/a.174160789388093.44033.174158119388360/182655201871985/?type=3&theater>.

Figure 10 (p. 39) : BENZ, Robert, Ensemble d'enceintes et projecteurs contrôlés par une fonction arithmétique aléatoire, 2016, ENSATT, Photographie.

Figure 11 (p. 41) : MORANT, Mathilde, *Le Cyclope*, 2017, ENSATT, Dessin.

Figure 12 (p. 42) : BENZ, Robert, La lampe robot, 2016, ENSATT, Photographie.

Figure 13 (p. 44) : Inconnu, *La lampe Pixar*, Dessin, <http://totallytransparent.tumblr.com/post/50773621073/transparent-disney-pixar-lamp-made-by-totally>.

Figure 14 (p. 47) : BENZ, Robert, L'ombre d'un immeuble habité par des silhouettes, 2016, ENSATT, Photographie.

Figure 15 (p. 49) : Tim Noble and Sue Webster, SUNSET OVER MANHATTAN, 2003, Installation d'ombre, <http://timnobleandsuewebster.com/artwerks.html>.

Figure 16 (p. 49) : Tim Noble and Sue Webster, WILD MOOD SWINGS, 2009, Installation d'ombre, <http://timnobleandsuewebster.com/artwerks.html>.

Figure 17 (p. 49) : Tim Noble and Sue Webster, YOUNGMAN, 2012, Installation d'ombre, <http://timnobleandsuewebster.com/artwerks.html>.

Figure 18 (p. 50) : YAMASHITA, Kumi, CITY VIEW, 2003, Installation d'ombre, <http://www.kumiyamashita.com/light-and-shadow/>.

Figure 19 (p. 50) : YAMASHITA, Kumi, CHAIR, 2014, Installation d'ombre, <http://www.kumiyamashita.com/light-and-shadow/>.

Figure 20 (p. 51) : KUWAKUBO, Ryota, *The Tenth Sentiment*, 2011, Installation d'ombre, <http://mymodernmet.com/moving-shadow-art/>.

Figure 21 (p. 51) : KUWAKUBO, Ryota, *The Tenth Sentiment*, 2011, Installation d'ombre, <http://mymodernmet.com/moving-shadow-art/>.

Figure 22 (p. 52) : Inconnu, *scènes de théâtre d'objet*, 2009, In FARABET, René, *Théâtre d'ondes, théâtre d'ombres*, Nîmes, Champ social, coll. « Musique-environnement », 2011.

Figure 23 (p. 53) : BRIOT, Antoine, "Char d'As-Son", Voiture et micro-canon, 2015, ENSATT, Photographie, In BRIOT, Antoine, *Ecriture sonore d'un théâtre de l'objet*, Mémoire de projet personnel de fin d'études, conception sonore, Lyon, ENSATT, 2015, p. 27.

Figure 24 (p. 56) : BENZ, Robert, *L'homme au bout du couloir*, 2017, ENSATT, Photographie.

Figure 25 (p. 57) : BENZ, Robert, *Double point de vue*, 2017, ENSATT, Photographie.

Figure 26 (p. 65) : BENZ, Robert, *Ergo-Jr*, 2017, ENSATT, Photographie.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages

- AYLETT, Ruth, *Robots : des machines intelligentes et vivantes*, Paris, Solar, 2004.
- BRIOT, Antoine, *Ecriture sonore d'un théâtre de l'objet*, Mémoire de projet personnel de fin d'études, conception sonore, Lyon, ENSATT, 2015.
- ČAPEK, Karel, trad. Jan Rubeš, *RUR : Rossum's universal robots*, Paris, La différence, 2011.
- CARRIGNON, Christian et MATTEOLI, Jean-Luc, *Le théâtre d'objet : A la recherche du théâtre d'objet*, Paris, THEMA, coll. « Encyclopédie fragmentée de la marionnette », 2009.
- DESHAYS, Daniel, *Pour une écriture du son*, Paris, Klincksieck, coll. « 50 questions », 2006.
- DESHAYS, Daniel, *Entendre le cinéma*, Paris, Klincksieck, coll. « 50 questions », 2010.
- ECO, Umberto, *Le nom de la rose* [Préface], Paris, B. Grasset, 1985.
- FARABET, René, *Théâtre d'ondes, théâtre d'ombres*, Nîmes, Champ social, coll. « Musique-environnement », 2011.
- HEUDIN, Jean-Claude, *Les créatures artificielles : des automates aux mondes virtuels*, Paris, O. Jacob, 2007.
- LARRUE, Jean-Marc (dir.), *Théâtre et intermédialité*, Villeneuve d'Ascq, Presses universitaires du Septentrion, 2016.
- MATHIEU, Clément-Marie, LOSCO-LENA, Mireille, « Trouver des points de dialogue avec le monde industriel : un rêve commun » in revue *Ligéia*, XXVIII^e Année, n°137-140, Janvier-Juin 2015, dossier : *Théâtres laboratoires. Recherche-crédation et technologies dans le théâtre aujourd'hui*.
- MATHIEU, Clément-Marie, *Corps, Gestes et interface Homme/Machine dans les environnements de régie au spectacle vivant*, Mémoire de projet personnel de fin d'étude, conception sonore, Lyon, ENSATT, 2010.
- ORWELL, George, *Nineteen eighty-four*, Paris, France Loisir, 1984.
- SHELLEY, Mary Wollstonecraft, *Frankenstein, ou le Prométhée moderne*, Paris, J'ai lu, 1993.

Spectacles

- BORY, Aurélien, Compagnie 111, *Sans objet*, Toulouse, 2009.
- GUTMANN, Laurent, *Egaut*, Atelier spectacle de l'ENSATT, Lyon, 2016.
- MATHIEU, Joris, *Artefact*, Lyon, 2017.
- LI, Blanca, *ROBOT*, Montpellier, 2013.
- TESTE, Cyril, *RESET*, Saint-Denis, 2010.
- TESTE, Cyril, *Sun*, Avignon, 2011.
- Laboratoire de l'Inquiétante Etrangeté, *Gnômôn*, ENSATT, 2013.

Films

- BLOMKAMP, Neil, *Chappie* [D.V.D], Sony Pictures, 2015.
- GARLAND, Alex (réal.), *Ex_machina* [D.V.D], Universal pictures video, Londres, 2015.
- GORGIARD, Laurent, *L'homme aux bras ballants*, LAZENNEC BRETAGNE, St jacques de la lande, 1997.
- STANTON, Andrew, *Wall-E* [D.V.D], Pixar Animation Studios, Los Angeles, 2008.

Radio

- PAULRE, Laurent (réalisation), *Automates et robots*, Grande traversée : Frankenstein ! Bienvenue dans le monde des créatures artificielles, France Culture, août 2016.
- VILA, Véronique (réalisation), *ROBOTS (4/5) : Danse avec les robots. Spectacles vivants ?*, Les nouvelles vagues, France Culture, octobre 2015.

Web

- Intercommunication Center, « The tenth Sentiment » [en ligne], disponible sur : <http://www.ntticc.or.jp/en/feature/2010/Openspace2010/Works/thetenthsentiment.html> (consulté le 9 mai 2017).
- KIM Eugene, Moving Shadow Art [en ligne], disponibles sur : <http://mymodernmet.com/moving-shadow-art/> (consulté le 9 mai 2017).
- « *Le théâtre et les robots* », Agôn [En ligne], Points de vue & perspectives, Oriza Hirata, mis à jour le : 14/09/2011, URL : <http://w7.ens-lsh.fr/agon/index.php?id=1170>. (consulté le 15/11/2016)
- Théâtre de Narbonne, Histoire du théâtre d'ombres [en ligne], disponible sur : <https://www.leteatre-narbonne.com/saisons/13-14/dp/histoiretheatredombres.pdf>, (consulté le 5 avril 2017).
- TIM NOBLE & SUE WEBSTER, ARTWERKS [en ligne], consulté sur : <http://www.timnobleandsuewebster.com/artwerks.html> (consulté le 20 avril 2017).
- Félix Machines [en ligne], consulté sur <http://felixsmachines.com/> (consulté le 20 avril 2017).

Jeux vidéo

- WOLPAW Erik, FALISZEK Chet, SWIFT Kim (Concepteurs), *Portal*, Valve Software, 2007.

INDEX

Courbes d'automation : Ces courbes décrivent les changements d'un paramètre en fonction du temps. Il peut s'agir par exemple d'un volume ou d'une fréquence.

Effet Hass : Appelé effet de précédence - utilisé dans le milieu de la diffusion audio pour travailler sur la localisation des sources. Prenons deux sources A et B positionnées dans l'espace à équidistance de l'auditeur. Si le signal de la source A est retardé, l'auditeur localisera le son sur l'enceinte B. De la même manière, si l'enceinte A diffuse le son avec un niveau plus faible, le son sera localisé sur l'enceinte B.

Equaliseur : Un égaliseur est un outil permettant de traiter le signal sonore pour filtrer certaines bandes de fréquences ou en amplifier d'autres.

Orienté objet : Ce terme est issu de la programmation informatique orienté objet (POO). C'est un paradigme de programmation informatique qui utilise des objets qui représentent une idée, un concept ou tout objet du monde physique comme un piano, ou la fatigue. Ces objets possèdent une logique interne et un comportement qui leur appartient. Il s'agit alors de définir les liens entre ces objets pour organiser leur comportement. On utilise également ce terme dans le monde du son lorsqu'on parle de mixage orienté objet. Par exemple, si l'on veut placer un son de cloche pris en proximité pour faire croire à une église sonnant dans le lointain, au lieu d'appliquer les différents traitements sonores par rapport à un système de diffusion défini en créant un rendu sonore pour les canaux de diffusion utilisés, le mixage orienté objet propose de définir les caractéristiques de la modification de son apporté à l'objet indépendamment de son système de diffusion. Un processeur dédié sera en charge de calculer les différents canaux lors de la diffusion.

Oscillateur : C'est un outil qui décrit une fonction sinusoïdale. Dans MAX7, il me permet de générer un son synthétique en précisant sa fréquence.

Servomoteurs : C'est un type de moteur que l'on peut commander en fixant une position d'angle précise à atteindre par rapport à une référence.

Speakon : Le speakon est un embout standard spécifique utilisé pour la sonorisation entre l'amplificateur de puissance et l'enceinte.

Urbex : L'exploration urbaine est une activité consistant à visiter des lieux construits par l'homme, abandonnés ou non, en général interdits, ou tout au moins cachés ou difficiles d'accès.

Remerciements

Lors de ce mémoire de recherche, j'ai été soutenu et nourri d'échanges par de nombreuses personnes que je souhaite remercier pour la réalisation optimale de celui-ci.

Je tiens tout d'abord à remercier Maria CASTRO et Clément-Marie MATHIEU pour le suivi et les échanges inspirants que l'on a partagés. Aurélien BORY et Christian LAROCHE pour le temps qu'ils m'ont accordé lors de nos entretiens. François WEBER pour son aide précieuse sur le logiciel MAX7. Alain DAUTRICHE pour sa relecture attentive. Julien JEHL pour son aide afin d'appivoiser le bras robot Ergo-Jr. Lisiane DURAND et Lisalou EYSSAUTIER pour leur réflexion et collaboration pour créer la forme de ma soutenance et Mathilde MORANT pour ses talents de dessinatrice.