



**ON REGARDE AVEC LA MAIN !**



OUIEU ! Pour combler les bienfaits  
Ouvre un instant notre paupière  
Et nous n'auront plus de regrets  
D'être privés de lumière

Que notre oeil contemple les traits  
De ceux dont la main nous soulage  
Et referme le pour jamais  
Nos coeurs en garderont l'image



ROMAIN BUCHET

On regarde avec la main !

*Conception d'une maquette tactile pour le grand T*

ensa nantes

*architecture en représentation*

2015

Mes remerciements s'adressent en premier lieu à Bruno Suner pour son accompagnement tout au long de ce mémoire et pour sa proposition de transformer cet exercice théorique en pratique.

Je remercie Franck Jeanneau de m'avoir fait confiance pour mener à bien cette commande de maquette tactile ainsi que l'ensemble de l'équipe du Grand T pour leur accueil.

Mes derniers remerciements vont à l'ensemble des personnes m'ayant soutenu durant cette période de travail et à ma famille qui a, de ce fait, supporté mes absences.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT COMMIS AU DROIT D'AUTEUR

# INTRODUCTION

Et si un jour je perdais en partie ou totalement l'usage de mes yeux ? Me serait-il encore possible d'apprécier les couleurs d'un coucher de soleil se posant sur le sol d'un flanc de montagne enneigé, de pouvoir me sentir libre de me déplacer ou je veux quand je veux et dans la direction que je le souhaite ? Serais-je encore capable de juger de la richesse de notre monde sans ce sens si primordial qu'est la vue ?

Ces questions, il y a déjà bien des années que je me les poses...

Je me souviens ces repas en famille où rires et long discours s'entremêlent avec odeurs des nombreux plats disposés le long de la table. Je garderais toujours en tête l'un d'entre eux durant lequel Alexandre, de 7 ans mon jeune frère, nous affirme que la baguette, que l'on avait pris soin de poser dans le bon sens pour ne pas attirer le mauvais œil, était verte. Les rires et les moqueries qui ont suivi cette annonce, nous apparaissant alors comme une énième bêtise du frangin, ont fait suite à une réalité bien plus bouleversante. Ce jour-là, j'avais appris que mon frère était daltonien, un protan, plus précisément. Quel choc de savoir que ses yeux ne lui permette de voir le monde qu'avec des nuances de gris et de jaune, je commençais alors à comprendre pourquoi il avait craqué sur cette paire de chaussure jaune et orange que je détestait tant. En étudiant ce handicap qu'est le daltonisme lors d'un exercice de T.P.E. lors de mes études au lycée, je me suis rendu compte des différentes formes que celui-ci peut prendre et à quelle point nos yeux définissent ce que nous apprécions du monde extérieur.

Les yeux, nos yeux ... Quelle étrange organe qui permet par des mécanique d'optique complexe de nous représenter le monde. Mais pour autant, n'étant pas en situation de handicap, ma vision du monde est-elle la même qu'un autre. N'y a-t'il pas autant de manière de voir le monde que de personne sur terre ? Mon travail de mémoire de licence m'a amené à travailler et à me documenter un peu plus sur la perception et sur les mécanismes cognitifs intervenant au cours de cette dernière. Si je regarde cet arbre devant moi, mon image mentale de celui-ci ne sera jamais identique à celle que peut avoir une autre personne. En résumant, nous voyons et percevons le monde non pas tel qu'il l'est mais en fonction de ce que nous sommes.

Que penser alors des personnes souffrant de cécité visuelles ? Je refuse de penser qu'elles ne sont simplement des voyants ayant perdus l'usage des yeux positionnant ainsi l'usage des yeux comme une condition initiale de l'appréhension du monde. Non, le non voyant ne peut pas être considéré comme un voyant qui ne voit pas, c'est une autre manière d'appréhender le monde. Mais alors par quels mécanismes peuvent-ils comprendre notre monde. Sont-ils tous des Daredevils ayant développés des facultés différentes que nous autres, personnes jugées normales ? L'ensemble de nos autres sens peuvent-ils alors suppléer cette absence de vision dans la vie de tous les jours ?

C'est avec l'image de cette baguette de pain, d'apparence si ordinaire, mais tellement spéciale à mes yeux que j'ai choisi, à l'aube de la fin de mes longues études, de choisir le thème de la cécité dans mon exercice de mémoire.

Partant du constat que les personnes malvoyantes ont une perception différente du monde qui nous entoure, que faisons-nous architecte, créateur d'espace et de lieux, pour intégrer ce handicap dans nos projets. De plus en plus, nous construisons avec nos yeux pour nos yeux, oubliant ainsi que l'architecture avant d'être un objet à contempler est avant tout une expérience multi sensorielle. Il est vrai que par son caractère immédiat de compréhension d'un espace, la vue peut être considérée comme le sens premier. Mais réduire la création architecturale à la vision dessine des limites d'une expérience bien plus riche. Considérant bien souvent le handicap comme une prise en compte secondaire dans un projet, l'accessibilité se résume la plupart du temps à une application de normes, des dimensions permettant un bon usage des lieux, en mettant de côté l'aspect sensuel de la conception architecturale. Les traces de préoccupation du handicap sont pauvres. Quelques greffes par ci et par-là ne participant pas à l'ambiance générale d'un lieu, comme des pansements architecturaux pour les personnes malades. Avant l'accessibilité, il nous faut d'avantages réfléchir à une conception prenant en compte l'intégralité de nos sens.

Viens ensuite la question de la représentation architecturale. Photographies, plans, rendus 3d sont autant d'exemple qui nous montre la prédominance de la vue dans la communication d'un projet. Dans cette époque d'hyper visualisation culturelle peut on trouver des représentations architecturales permettant aux personnes souffrant de déficience visuelle de comprendre et découvrir ce que nous avons créé et créerons ?

L'objectif de comprendre comment la maquette tactile peut être un outil de représentation efficace dans la découverte d'un espace chez un public aveugle. Cet outil performant de compensation visuelle permet au non voyant d'utiliser le sens du toucher pour faciliter la création de sa carte mentale d'un lieux. Plus qu'un média facilitant l'orientation, la maquette permet l'intergration d'informations d'ordre culturelle permettant ainsi au public non voyant d'avoir accès à des éléments jusqu'à lors imperceptible.

A l'image d'un démarche scientifique, le mémoire se compose de deux parties théoriques, permettant de regrouper les connaissances nécessaires pour une troisième phase pratique qui consiste à concevoir et réaliser une maquette tactile pour le Grand T. La première phase d'observation permettra de mieux connaître le handicap visuel et ainsi de mieux cibler la population concernée par ce travail de maquette. Puis la deuxième phase, appelée hypothèse, permet de regrouper les informations techniques nécessaires pour la conception de cette maquette. Enfin, la dernière partie fera état des travaux réalisés pour sa construction.



## observations

### cécité ?

La cécité visuelle, une définition complexe  
Cécité tardive et de naissance  
Les chiffres  
Les différentes causes de cécité visuelle

### accessibilité(s)

Un handicap négligé  
Une double accessibilité  
L'accessibilité à la mobilité  
Cécité et parcours de l'espace  
Dispositifs d'aide au déplacement  
L'accessibilité à l'information, à la culture  
La cécité dans les lieux de culture  
Les outils d'accès



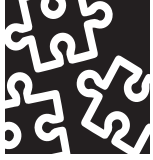
## hypothèses

### le toucher

Mécanisme  
Perception tactile passive / active  
Différence entre la perception tactile et visuelle  
Un interprétation morcelée  
Un champ perceptif restreint  
Exploration tactile  
Société et toucher

### maquette tactile

Architecture et maquette tactile  
Etat de l'art  
Matérialité  
Formes  
Discussion  
Spécificité de la maquette tactile  
Traduction simplifiée  
La notion d'échelle  
Textures  
Un média tout public  
L'impression 3d  
Accessibilité du futur  
Techniques d'impressions  
Matériaux  
Conclusion



# expériences

## commande

Le Grand T  
La demande  
Cahier des charges  
Maquette tactile choisie

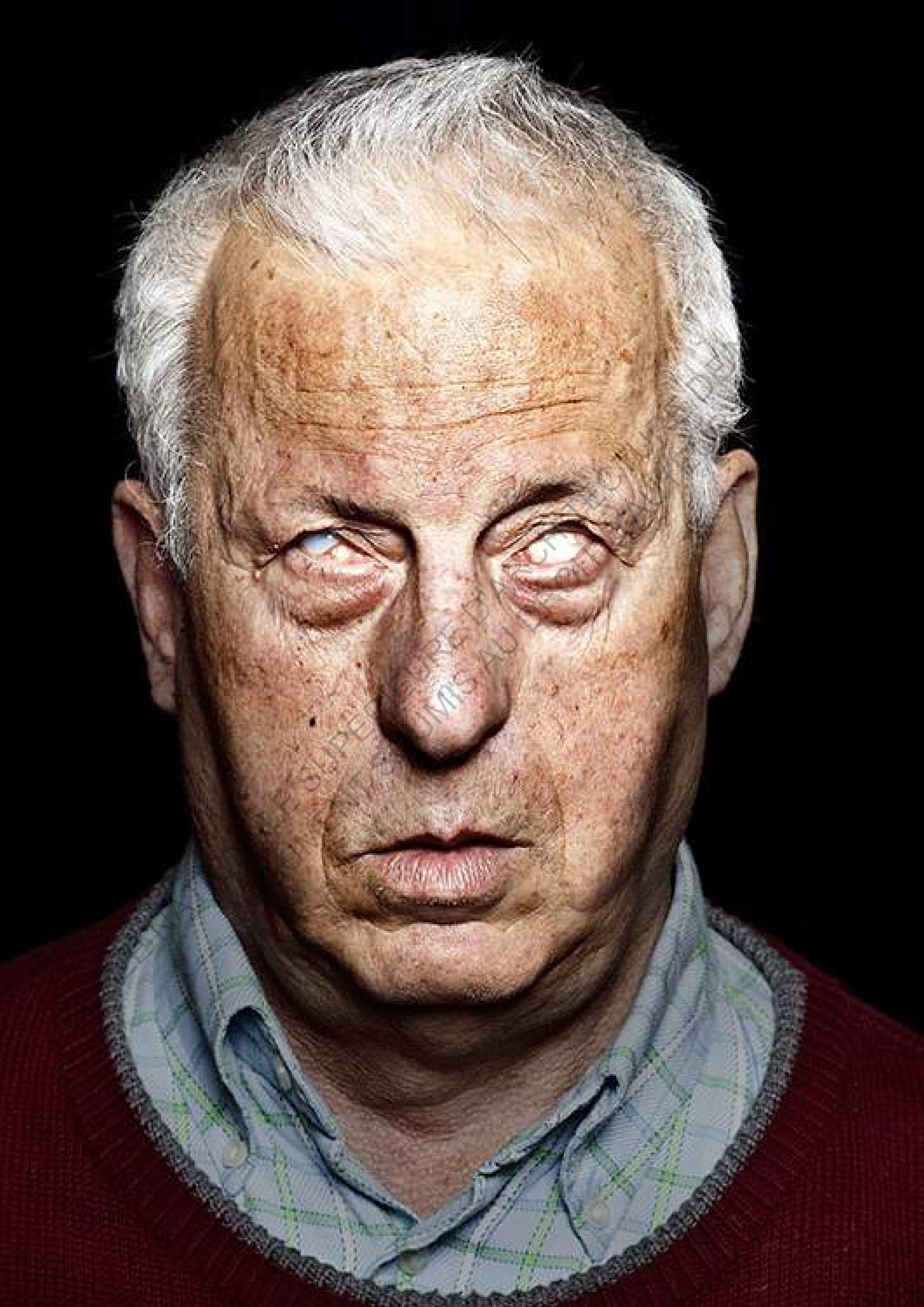
## méthodologie

Processus général d'intervention  
Modélisation numérique  
    Un modèle en constante évolution  
    Principe de modélisation  
    Export STL  
Interprétation des données STL  
Impression

## tests d'impressions

Objectifs  
Impression d'un échantillon de maquette  
    Descriptif du test  
    Résultats commentés  
Moyens d'assemblages  
    Descriptif du test  
    Résultats commentés  
Impression en braille  
    Descriptif du test  
    Résultats commentés  
Symbole bas relief  
    Descriptif du test  
    Résultats commentés

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR







# observations



compréhension du public aveugle

# #1 // cécité ?

<sup>(1)</sup> **cécité, nf.**, (*lat. caecitas*) ;  
Etat d'une personne aveugle

La définition de la cécité n'est pas une chose facile.

En effet, le handicap majeur qu'est le handicap visuel regroupe une population hétérogène de plus en plus importante. Dans cette première partie nous allons essayer de comprendre les causes et les formes que peut prendre ce dernier.

<sup>(1)</sup> Dictionnaire Larousse

## //1. La cécité visuelle, une définition complexe

Il est difficile de donner une définition unique du handicap visuel. La cécité visuelle est en effet bien différente d'un sujet à un autre. Le dictionnaire du handicap définit le handicap visuel comme l'inexistence ou la perte, à des degrés variables, d'acuité visuelle. Les causes de la cécité sont multiples et diffèrent chez un sujet adulte ou enfant.

La déficience visuelle est définie par 2 critères (toujours évalués à partir du meilleur œil après correction).

### # La mesure de l'acuité visuelle

(aptitude que possède l'œil pour apprécier les détails)

### # L'état du champ visuel

(espace qu'un œil immobile peut saisir)

D'après l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé), et légalement en France, on compte 5 catégories de déficiences visuelles.

### # Catégorie I

acuité visuelle comprise entre 3/10e et 1/10e, champ visuel supérieur à 20°

### # Catégorie II

acuité visuelle comprise entre 1/20e et 1/10e

### # Catégorie III

acuité visuelle comprise entre 1/50e et 1/20e, champ visuel compris entre 5° et 10°

### # Catégorie IV

acuité visuelle inférieure à 1/50e, mais perception de la lumière préservée

### # Catégorie V

absence de perception lumineuse.

Il existe d'autres classements de ce handicap. De manière générale, nous ferons une distinction dans ce mémoire entre les sujets malvoyants (MV) bénéficiant d'une perception lumineuse rendant possible la discrimination d'objet, et les sujets atteints de cécité ou aveugles (A).

## //2. Cécité tardive et de naissance

Une distinction importante sera faite dans ce mémoire entre les aveugles tardifs (AT) et les aveugles de naissance (AN) ou précoce (AP). On appelle aveugle tardif, toute personne ayant perdu l'usage de la vision après l'âge de 3 ans, plus précisément, après la première enfance. Toute personne ayant perdu la vue après la naissance et avant l'âge de 3 ans sera appelée aveugle précoce.

Cette distinction est essentielle car même si ces dernières catégories sont souvent regroupées sous le même terme d'aveugle ou non-voyants, leurs mécanismes perceptifs et leurs perceptions de l'espace sont radicalement différents. En effet, la perception de l'environnement extérieur faite par un aveugle tardif tient encore compte de ses perceptions cognitives antérieures. Autrement dit, les souvenirs de sa vision perdue seront encore très présents dans sa représentation du monde.

D'autre part, la représentation mentale d'un aveugle tardif sera entièrement liée à la durée de son expérience visuelle.

## //3. Les chiffres

Provenant majoritairement dans les pays à faible revenus, la cécité visuelle touche principalement les personnes âgés de 50 ans et plus. La population mondiale déficiente visuelle s'élève aujourd'hui à 285 millions de personnes dont 39 millions d'aveugles.

Selon le rapport de 2005 de l'INSEE, la population française atteinte d'handicap visuel s'élève à 1.7 millions de personnes comprenant :

# 207 000 aveugles ou mal voyants profond (12%)

# 932 000 malvoyants moyens (55%)

# 560 000 malvoyants légers (33%)

Aujourd'hui le handicap visuel touche environ 2.5 % de la population française. L'amélioration de l'espérance de vie dans les pays industrialisés est aujourd'hui la cause de l'augmentation de cet handicap majeur.

#### //4. Les différentes causes de cécité visuelle

Les causes de la cécité visuelle sont diverses et variées et peuvent être accidentelles, liée à l'âge ou génétiques. Les principales maladies portant atteinte à la vision sont les suivantes :

# **La cataracte** demeure la première cause de cécité dans le monde (48%). Elle consiste en une opacification du cristallin gênant le passage de la lumière. En France, cette maladie s'opère de plus en plus facilement et son nombre diminue grâce à des traitements de prévention.

# **Le glaucome** (12.3%) touche essentiellement les plus de 40 ans. Cette maladie est due à une pression trop élevée à l'intérieur de l'œil qui entraîne la destruction progressive du nerf optique. Le champ de vision se réduit, la cécité guette en l'absence de traitement médical ou chirurgical.

# **La dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA)** (8.7%) est la première cause de cécité chez les personnes de plus de 60 ans. Elle est provoquée par une lésion dégénérative du centre de la rétine, au niveau de la macula. La personne atteinte est gênée lorsqu'elle regarde droit devant elle, mais conserve sa vision périphérique, ce qui lui permet de se déplacer.

# **La rétinopathie diabétique** (4.8%), touche environ un tiers des diabétiques. Cette complication grave provoque de minuscules hémorragies des vaisseaux menant à la rétine. Les lésions entraînent une baisse progressive de la vision pouvant, sans traitement, mener à la cécité

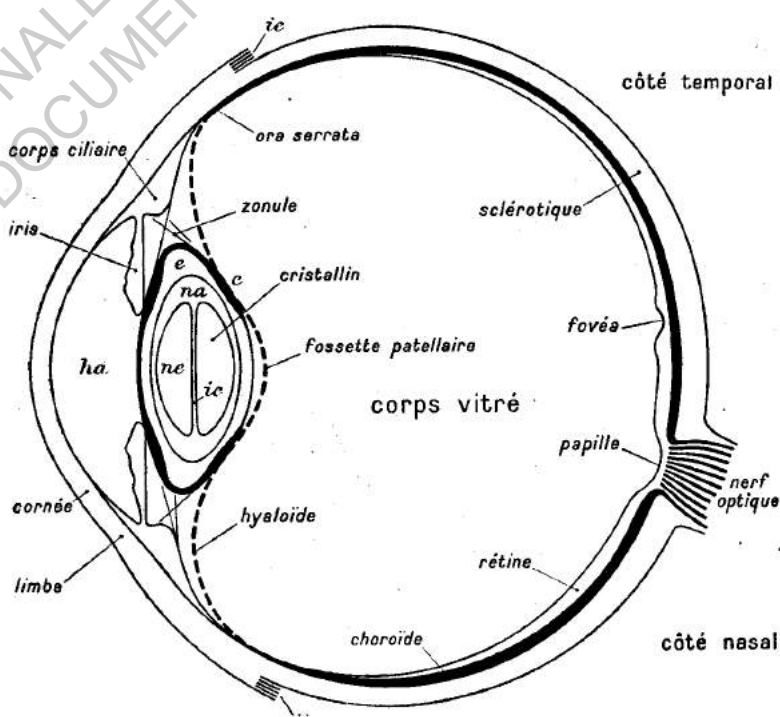


fig. 1 : Représentation schématique de l'œil humain

## #2// accessibilité(s)

Pour les personnes souffrant de handicap, l'accessibilité est un droit fondamental pour pouvoir évoluer en société.

Dans cette partie, nous allons essayer de comprendre par quels moyens le public aveugle peut avoir accès à une vie en autonomie.

Dans le cas de la déficience visuelle, cette notion d'accessibilité est double. En effet, même si de nombreux moyens sont mis en place aujourd'hui pour garantir un déplacement autonome, ces derniers ne permettent pas l'accès à l'ensemble des informations, souvent visuelles, du monde qui nous entoure.

## //1. Un handicap négligé

Devenu obligatoire par la loi du 11 février 2005, la réglementation concernant l'accessibilité aux personnes atteintes de handicap est aujourd'hui une préoccupation importante des concepteurs d'espaces. Cependant, lorsque l'on parle d'accès au bâti aux personnes handicapées, nous imaginons bien trop souvent que la construction d'une rampe, un plan incliné ou un ascenseur est une condition suffisante pour faciliter la vie du plus grand nombre. Force est de constater l'inégalité des handicaps en matière d'accessibilité. Le handicap moteur, qui se voit, est, à tort, bien plus connu et considérés que les autres. Il n'est pas question ici de dénigrer l'importance des préoccupations aux handicaps moteur mais bien de rappeler que le handicap ne peut et ne doit être réduit à ce dernier. Le handicap visuel, comme d'autres tel que la surdité et le handicap mental doit également être au cœur du processus de création d'espace.

Le domaine de l'architecture est un bon exemple des difficultés rencontrées aujourd'hui par un public atteint de cécité. Dans une époque d'hégémonie visuelle <sup>(1)</sup>, il est nécessaire de se demander quelle place est offerte au public non-voyant. En effet, les espaces construits sont majoritairement mis en scène pour les yeux et les informations relatives à nos autres sens sont rarement prises en compte. Or l'architecture est et doit rester une expérience sensorielle complète. Outre dans sa conception, la communication et la représentation de l'architecture et plus généralement de la culture, est également bien trop raccourcie au seul sens de la vue. L'exemple de la Fallingwater illustre bien ce dernier propos. En effet, nous avons tous en tête ce chef d'œuvre architectural surplombant la cascade le rivière Bear Run. Mais nous sommes nous déjà interrogés sur les gênes occasionnées par le bruit perpétuel des chute d'eau pour l'habitant ? En plus de prendre le risque de perdre le contexte dans lequel un édifice a été créé, réduire l'architecture au simple usage de nos yeux est un frein important pour les personnes aveugles et mal voyant luttant quotidiennement pour leur indépendance.

Etre autonome dans ses déplacements et dans la gestion de sa vie quotidienne, voilà le rêve d'une personne atteinte de cécité visuelle. L'objectif de ce mémoire étant de créer pour un bâtiment public un outil garantissant l'accès à un public visuellement déficient, il est bon de s'interroger sur les enjeux que relève cette accessibilité.

<sup>(1)</sup> Marc Crunelle - *Toucher, audition et odorat dans l'architecture* - 2001

## //2. Une double accessibilité

Le principe d'une accessibilité généralisée, quel que soit le type de handicap est désormais inscrit dans la loi du 11 février 2005 introduisant le principe de l'égalité des chances pour tous. Cette loi est complétée par le décret ministériel du 17 mai 2006 pour les ERP. Au regard de la loi, un espace est considéré comme accessible lorsqu'il permet aux personnes souffrant d'un handicap, de circuler en pleine autonomie, d'accéder aux locaux et équipements, d'utiliser les équipements, de se repérer, de communiquer et de bénéficier des prestations en vue desquelles l'établissement ou l'installation a été conçu. Des moyens techniques et/ou humains sont donc à mettre en œuvre pour permettre à toute personne en situation de handicap de se déplacer plus librement, et d'avoir la possibilité de participer pleinement à la vie collective.

Au travers de cette définition légale, il convient de dissocier deux types d'accessibilités différentes à prendre en compte pour le handicap visuel.

La première relève plus de la mobilité, de la circulation au sein d'un espace donné. Quel sont les moyens à mettre en place pour faciliter le déplacement du public aveugle ? L'objectif est de rendre possible la pratique d'un parcours de manière indépendante par le biais de moyens de guidage et la création de repère d'orientation et de localisation fixes. Depuis janvier 2015, l'ensemble des ERP neufs ou existants ont l'obligation de mettre en place les moyens matériels nécessaire pour en garantir son accès, sous peine de sanctions pénales.

Un deuxième travail essentiel consiste à rendre accessible la culture à tous. Avoir accès au bâtiment ne signifie pas forcément pour le public aveugle d'avoir accès à son contenu. En effet, beaucoup de lieux de culture tels que les musée, théâtre, regroupent uniquement des médias destinés à la vue. Alors existe-t-il des moyens et techniques permettant de traduire ces travaux culturels et visuels pour un public privé de ce sens premier dans le domaine artistique ? Le simple fait de traduire une esthétique visuelle par le biais d'une ou plusieurs autres modalités sensorielles rend cette accessibilité culturelle plus complexe.

Répondre à ces deux accessibilités est un objectif essentiel au projet de maquette tactile en cours. Les écrits qui suivent permettront de comprendre leurs difficultés et les solutions mise en place pour les améliorer.



### //3. L'accessibilité à la mobilité

#### //3.1. Cécité et parcours de l'espace

##### a. Entretien introductif

Si il y'a bien une chose que j'ai pu apprendre lors d'un entretien préliminaire avec Maryse Papineau, présidente de l'association nantaise Valentin Haüy, c'est les difficultés que rencontrent les non-voyants au cours d'un déplacement. Lors de cette rencontre touchante, ce début d'année, j'ai été au premier abord surpris de l'autonomie de Maryse, aveugle de naissance, me servant aisément un café et naviguant sur son ordinateur aussi rapidement qu'une personne voyante. Durant notre échange je lui ai demandé de me nommer un lieu dans la ville dans lequel le déplacement est pratiquement mission impossible. Sans hésitation et à ma grande stupéfaction, cette dernière me cita la grande place des machines de l'île. « Lorsque je parcours ce lieu, j'étouffe, j'angoisse », m'a elle dit. La qualité spatiale engendré par une place publique dégagée et agréable pour les voyants devient alors un cauchemar et un lieu d'angoisse pour celui qui ne dispose que peu d'élément pour se repérer. Maryse me confie par la suite qu'elle se sent extrêmement à l'aise dans ses déplacements quotidiens. Son trajet favori étant le parcours de son domicile à la boulangerie la plus proche. Maryse a retenu par cœur ce parcours, du changement de revêtement de sol en passant d'un trottoir à un autre, à la bouche d'égout lui permettant de savoir que la boulangerie ne se situe plus qu'à quelques mètres pour ensuite se laisser guider par l'odeur du pain sortant du four. Suite à cet entretien, il était nécessaire de comprendre quels sont les mécanismes mis en place par les personnes atteintes de cécité visuelle lors d'un déplacement. Comment est-il possible de s'orienter et de se déplacer lorsque l'on ne bénéficie pas de l'usage de ses yeux.

##### b. Cheminement aveugle

La perception de l'espace chez le voyant est majoritairement visuelle <sup>(1)</sup>. Physiologiquement, la vision est à l'origine du redressement de la tête pour voir au loin, complétant ainsi la connaissance corporelle apportée par la proprioception. En apportant des informations sur l'espace proche et lointain ainsi que sur les obstacles qu'un trajet comporte, elle joue un rôle décisif lors de la locomotion. Le caractère simultané lors de la construction mentale des relations spatiales conduise les chercheurs tels que Thinus-Blanc et Gaunet (1997) à considérer la vision comme « le sens spatial par excellence ».

Privé de ce sens primordial de la locomotion, le piéton aveugle utilise l'ensemble de ses autres systèmes perceptifs pour établir les relations spatiales nécessaires à son déplacement. Ce transfert intermodal des compétences sensorielles ne permet cependant que d'appréhender un espace restreint. Ne pouvant comprendre l'espace d'un simple balayage visuel, le piéton aveugle intègre donc au fur et à mesure de son déplacement les données sensorielles immédiates qu'il rencontre (auditives, tactiles, kinesthésiques, etc.) et construit

<sup>(1)</sup> Yvette Hatwell - *Toucher l'espace* - 1986

une représentation de l'espace de proche en proche. Le parcours du piéton aveugle suit alors une logique d'effectuation<sup>(1)</sup>. Il doit être vécu et parcouru pour être représenté. Le parcours d'une personne aveugle est donc inscrit dans son corps même, au terme d'une série d'anticipations motrices et mentales particulières.

Il est important de noter ici que les difficultés de représentation sont plus grandes chez l'aveugle précoce que chez l'aveugle tardif. Ces derniers ont en effet encore accès à des perceptions visuelles antérieures facilitant l'établissement des relations spatiales.

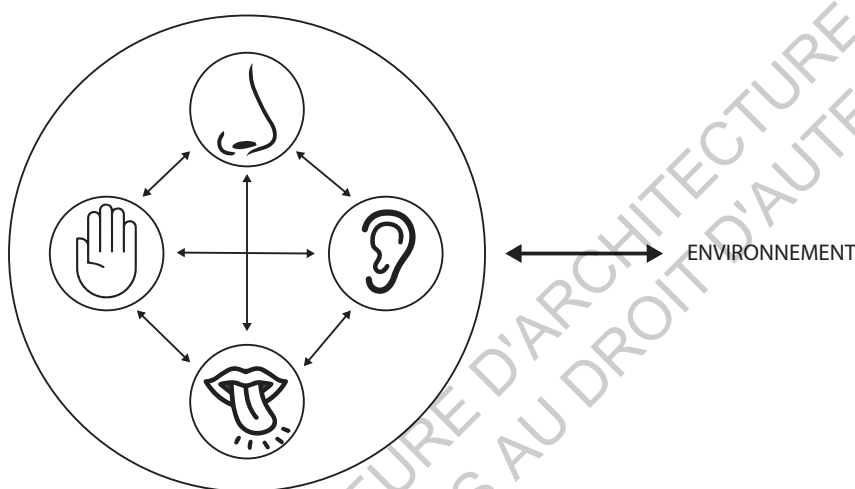


fig. 2 : Compensation des sens chez l'aveugle précoce

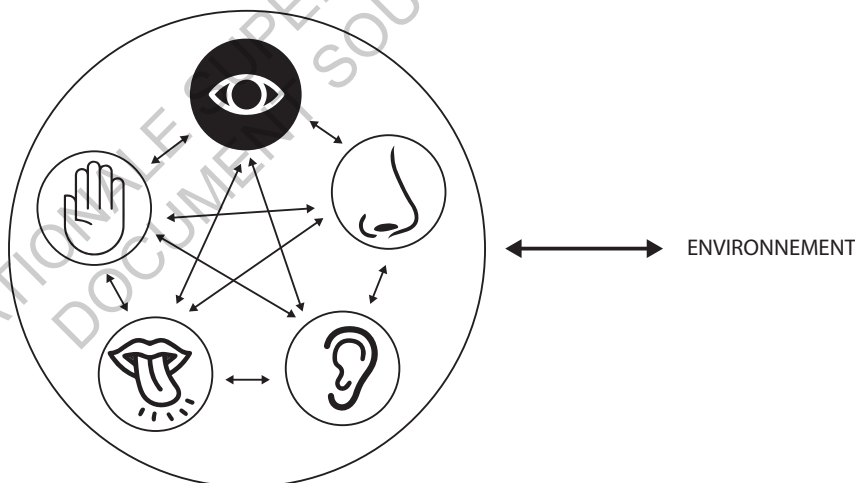


fig. 3 : Compensation des sens chez l'aveugle tardif

### c. Elaboration d'une carte mentale

Pour se mouvoir sans voir, l'aveugle doit se constituer une carte mentale ou carte cognitive du lieu à parcourir. Pour se faire, l'espace doit être premièrement parcouru. Cette première expérience de l'espace égocentrée permet d'établir des relations spatiales entre le piéton et les objets ou obstacles du parcours. Puis, afin de permettre la mémorisation du parcours, l'espace est mentalement géométrisé. Cette deuxième lecture de l'espace excentrique per-

<sup>(1)</sup> Fabien Coulon - Le rôle de la modalité tactile dans le déplacement du piéton en ville - 2005

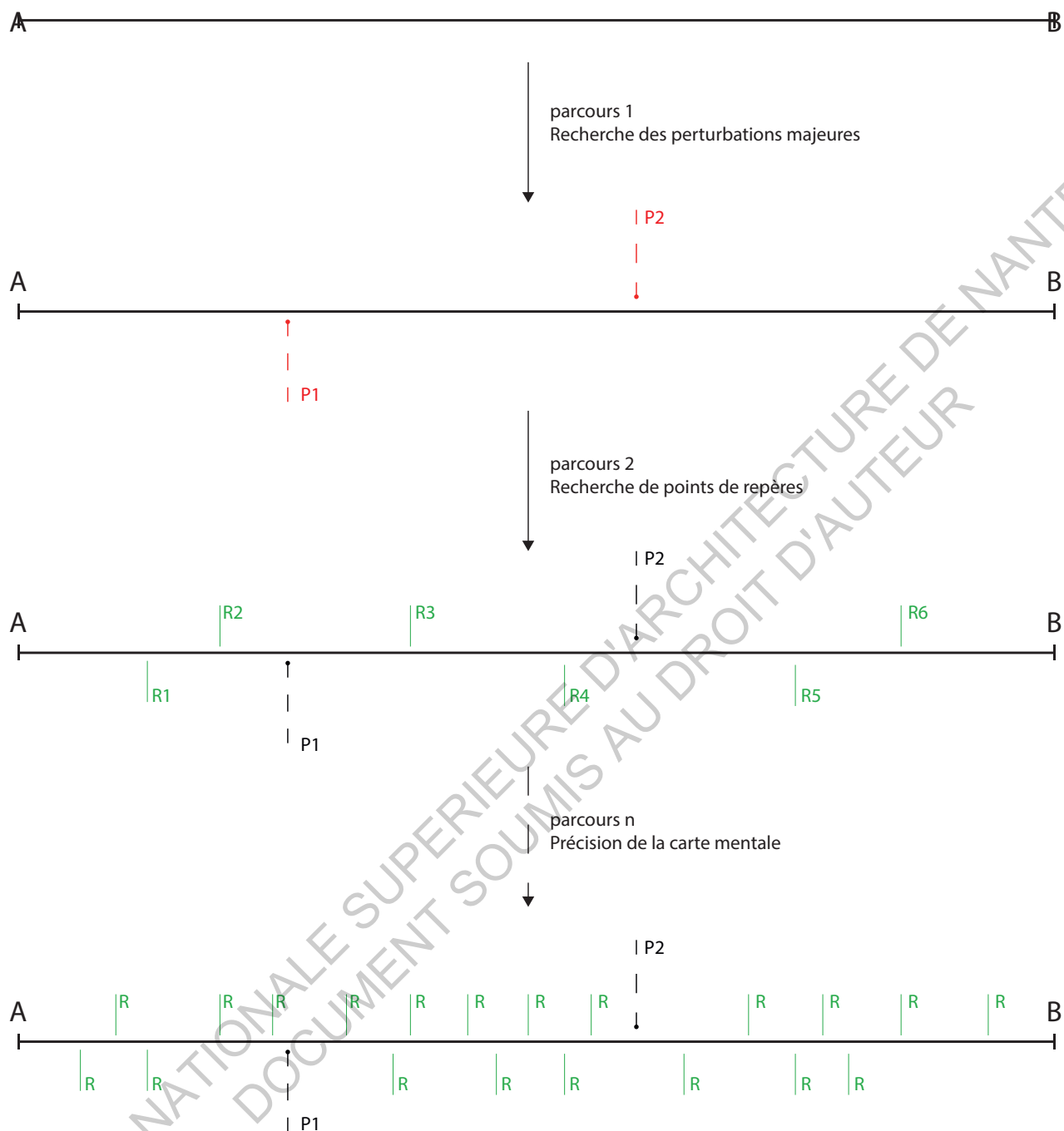
met de connaître la configuration de l'espace, de connaître les relations spatiales entre les objets du parcours. Selon Vergnaud (1985) la fonction principale de cette représentation mentale est de conceptualiser le réel pour agir efficacement.

Il convient alors de considérer le cheminement du sujet aveugle comme une succession de figures sensibles, l'espace à parcourir étant un environnement inter sensoriel nécessitant la combinaison de l'ensemble des sens pour sa compréhension. Pour établir une carte mentale et donc se mouvoir en indépendance dans un lieu, le piéton aveugle va identifier des points de repères sensoriels, généralement fixes et invariables dans le temps, lui permettant d'actualiser en permanence sa position lors d'un parcours.

Le principe de mémorisation s'effectue de manière successive et peut être dissocié en deux phases différentes. Premièrement, un premier trajet in situ, généralement réalisé à l'aide d'un accompagnateur voyant permet une reconnaissance générale du parcours. Lors de cette première étape, le sujet mémorisera en priorité les perturbations principales modifiant le parcours tels que les changements de directions ou toute autre perturbation dans le parcours linéaire. Puis, en répétant plusieurs fois ce parcours, le piéton aveugle va identifier et choisir des points de repères lui permettant de faciliter son trajet. Au sens mathématique, un repère consiste en un système de coordonnées permettant de localiser précisément un point, d'orienter une droite ou plus précisément, d'organiser l'espace. Dans le cadre d'une navigation, un repère peut être défini comme un objet ou une entité signifiant pour l'observateur un rapport particulier avec l'environnement. On distingue alors deux types de repères aux fonctions différentes.

**# Les repères de fonction directionnelle** permettant une décision de mouvement. Par exemple, l'indication sonore induite par le croisement de deux rues passantes peut permettre au piéton aveugle de changer de direction.

**# Les repères de fonction localisatrice** permettent à l'aveugle de savoir qu'il est à tel endroit du parcours. En navigant à plusieurs reprises, le piéton enrichit sa connaissance des points de repères l'aidant à se situer et donc à se localiser plus facilement. L'odeur du pain en passant devant une boulangerie décrite par Maryse lors de mon entretien est un bon exemple de ce type de repère dont le choix est lié à la catégorie socioculturelle de du piéton. Dans ces travaux, Lynch met en évidence l'association d'un repère à l'histoire individuelle du sujet.



**fig. 4 : Processus d'élaboration d'une carte mentale**

En utilisant les points de repères, la carte mentale du sujet aveugle se construit donc de manière successive. Plus le chemin est parcouru, plus les points de repères sont nombreux et plus le déplacement devient aisé. La carte cognitive met alors en jeu un processus de feed back pendant lequel, la carte mentale du sujet est mise à jour à chaque navigation du parcours.

D'un point de départ A à un point d'arrivée B, le parcours du sujet aveugle est ensuite morcelé en « micro scène » représentant le déplacement d'un point de repère à fonction directionnelle à un autre. Golledge définit ces courtes séquences spatiales comme des itinéraires constituant une route reposant sur l'association à chaque scène d'une action particulière

permettant d'atteindre une nouvelle scène, elle-même associée à une nouvelle action. Un nombre important de point de repère découpera donc le trajet en contre « micro scène » du parcours facilitant le repérage et le déplacement du piéton aveugle.

Enfin, pour terminer l'élaboration de sa carte mentale, le sujet aveugle prend connaissance de la configuration de l'espace. L'objectif de cette dernière est de définir la distance entre les objets composant cet espace. La connaissance de la configuration de l'espace, purement excentrique, permet à l'aveugle d'obtenir une vue d'ensemble de l'environnement à parcourir. L'acquisition de cette connaissance peut se faire aussi bien de manière égocentrique, par une exploration répétée de l'environnement, ou de manière excentrique à l'aide de représentations schématiques de l'espace comme des plans tactiles ou maquettes. La connaissance de cette configuration est cependant plus difficile chez l'aveugle précoce.

#### d. Conclusion

Selon le modèle de Siegel et White (1975), l'élaboration de la carte mentale d'un espace donné repose donc sur trois types de connaissances spatiales. D'abord, les repères sélectionnés par le sujet aveugle le long du parcours agissent comme des indicateurs de position ou de déplacement. Puis, les itinéraires, petites séquences spatiales, permettent de morceler le parcours en plusieurs scènes que le sujet mémoriserait indépendamment les unes des autres. Enfin, la connaissance de la configuration de l'espace permet une géométrisation mentale du parcours et permet une représentation spatiale globale.

De nombreuses études mettent en évidence la difficulté de cette représentation mentale chez les sujets aveugles, notamment chez les sujets atteints de cécité visuelle précoce. Il est alors intéressant d'identifier les dispositifs d'aide existant permettant de faciliter la représentation cognitive de l'espace et donc aider l'aveugle à se déplacer en autonomie.

## //3.2. Dispositifs d'aide au déplacement

### a. Aide au niveau de la personne

#### Canne blanche

La canne blanche de l'aveugle agit comme un prolongement de la main et donc de son sens du toucher. Celle-ci permet de détecter les obstacles présents le long d'un parcours. Cet outil bon marché et largement répandu regroupe plusieurs fonctions différentes :

**# Signalement.** Symbole connu de tous, la canne blanche avertit le public voyant que le sujet est atteint de troubles visuels et l'invite donc à devenir plus vigilant et attentif. Elle permet donc la reconnaissance du statut de personne handicapée et favorise les interactions sociales.

**# Contrôle.** Pour un sujet malvoyant remplissant les conditions nécessaires pour son emploi, la canne permet de conforter l'image visuelle perçue et rassurer lors de situations particulière (marche, reflet ...).

**# Protection.** La longueur de la canne permet à l'aveugle de garder une distance avec l'obstacle et donc de se protéger d'une éventuelle collision.

**# Détection.** Par balayage successif du sol, la canne permet d'explorer l'espace situé juste devant l'utilisateur. De manière indirecte, le sujet aveugle prend donc connaissance de la nature du sol, des obstacles bas situés sur son chemin. Elle permet à la personne déficiente visuelle de libérer son attention au sol et se concentrer sur l'accomplissement du parcours. Cette technique d'exploration requiert toutefois de l'expérience et donc des exercices importants en amont.



fig. 5 : Les informations sont obtenues par balayage successif du sol

Nous voyons apparaître ces dernières années un nouveau type de canne blanche, la canne blanche électronique. Inventée en 1991 par René Farcy, enseignant chercheur à l'université de Paris XI, ce nouveau système d'aide au déplacement n'est commercialisé que depuis peu. La canne blanche électronique se présente comme une canne blanche classique à laquelle a été ajouté un boîtier, nommé « Tom Pouce », permettant la détection des obstacles situés des genoux à la tête par l'utilisation de deux fenêtres infrarouges. Les obstacles hauts rencontrés lors du parcours aveugle sont signalés par vibration de la canne. Ce système innovant permet d'améliorer la sécurité des non-voyants, de garantir un parcours plus fluide ainsi que de multiplier les points de repères. La portée de la canne est ajustable en fonction de l'environnement traversé par la personne déficiente. Son utilisation requiert une formation particulière et de nombreuses heures de pratique. A terme, la canne blanche pourrait être une alternative au chien guide.

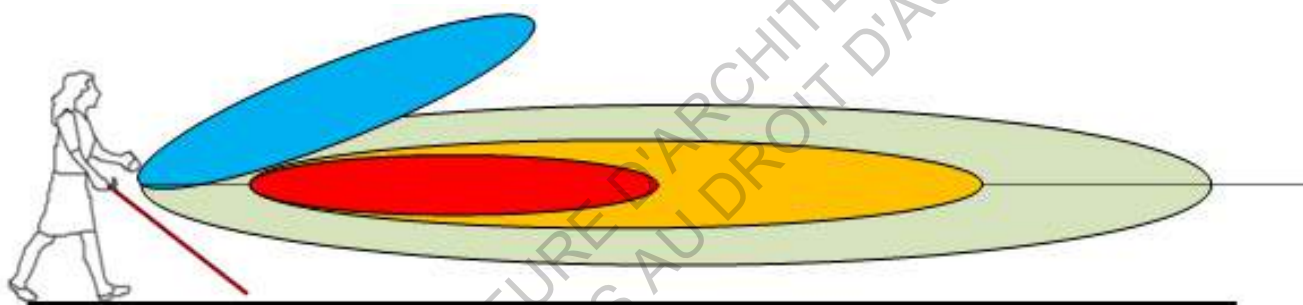


fig. 6 : Canne blanche électronique : Champ de détection des dangers

### Chien guide

Les chiens guide sont spécialement éduqués pour aider le déplacement des non voyants en ville. Une fois éduqués, ces derniers sont remis gratuitement à leurs propriétaires. Ce système de guidage repose sur la relation de confiance entre le maître et son chien. Son utilisation tend à diminuer avec l'arrivée de nouveaux systèmes électroniques.



fig. 7 : Les chiens guide, une aide basée sur la relation de confiance

## b. Dispositifs architecturaux

### Bande d'éveil ou bande podotactile

Les bandes d'éveil (BEV) ont pour unique but d'éveiller l'attention du piéton et de prévenir d'un danger. Normé, son domaine d'application s'applique exclusivement aux situations suivantes :

# en bordure de quais d'accès aux transports collectifs guidés, maritimes ou fluviaux, au droit des zones d'embarquement ou de débarquement, de montée ou de descente de passagers. Elle ne s'applique pas si les quais sont équipés d'un système de protection physique. Les systèmes de transports guidés, par rail ou équivalent, sont concernés si les quais de leurs stations ont une hauteur supérieure à 26 cm au-dessus de la voie empruntée par ceux-ci.

# en bordure de trottoir au droit de traversées et de chaussées équipées d'abaissés de trottoir, avec ou sans matérialisation du passage pour piéton.

# au droit de traversées de chaussées relevées sans dénivellation détectable, avec ou sans matérialisation du passage pour piéton.

# au droit des traversées de voies ferrées.

# en haut de chaque volée d'escalier de trois marches au moins située sur voirie ou espace public.

Tout autre domaine d'utilisation de la BEV est proscrit car il risque d'amoindrir la vigilance du piéton visuellement déficient.



**fig. 8 : Bande d'éveil au droit d'un quai de gare**



## Bande de guidage

La bande de guidage se trouve au sol et parcourt le bâtiment. Sans rupture elle peut être suivie du début à la fin. Elle sert à guider le non-voyant. Cette bande est en relief et d'un matériau qui contraste tactilement avec le sol existant ; elle permet de prévenir des dangers (croisements), d'indiquer des éléments indispensables (présence de WC).



**fig. 9 : Bande de guidage urbaine**

## Feux sonores

Les feux sonores sont des feux de circulations piétons munis d'un signal sonore pour alerter et conseiller le piéton aveugle ou mal voyant. Ces derniers sont permanent ou bénéficient d'un déclenchement automatique telcommandé grâce à un système de guidage type EO guidage (une petite télécommande qui détecte lorsque que le piéton aveugle ou mal voyant s'approche d'une traversée de route). L'installation de feu sonore a été rendue obligatoire en 2007.

En France, les feux sonores se font discrets, même si tout le monde a déjà entendu la fameuse phrase «rouge piéton» lors d'un parcours urbain. Dans d'autres villes européennes telle que Prague, l'indication sonore est permanente. Les trajets en ville sont alors rythmés par le battement des feux donnant une ambiance particulière à la ville.



**fig. 10 : « Rouge piéton ! »**

### c. Représentation tactile

Les outils de représentations tactiles permettent d'augmenter la vitesse d'élaboration d'une image mentale d'un parcours.

#### Carte tactile

Les cartes tactiles sont des représentations bidimensionnelles, de taille réduite, d'un espace réel. Elles posent un problème d'un point de vue cognitif. En effet, la personne aveugle doit se situer soit même dans l'espace pour pouvoir comprendre comment celui-ci s'organise. L'utilisation d'un symbole «vous êtes ici» n'apparaît efficace que si le plan est orienté de telle façon que l'utilisateur visualise ce qui est en face du symbole comme étant physiquement devant lui.

Certaines études cartographiques ont évalué le graphisme et les codes les plus adaptés pour leur création ( type de ligne, symbole, type de texture ...).



fig. 11 : Plan tactile - Siège de l'ADAPT (Lyon)

#### Maquette

Les maquettes tactiles ont les mêmes propriétés que les cartes tactiles mais avec une représentation en 3 dimensions. Véritable représentation d'un réel construit, leur usage est plus aisé pour la compréhension. Cependant, chères et encombrantes, leur utilisation est plus rare.

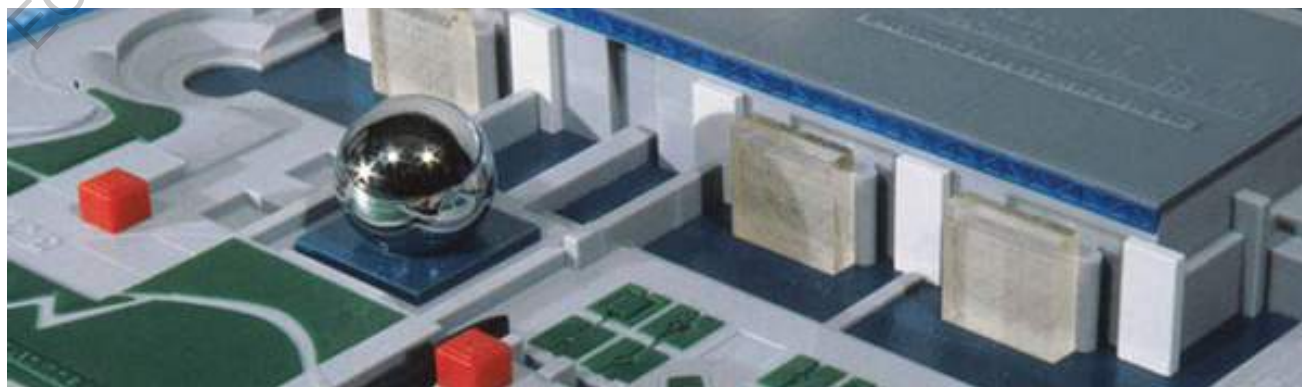


fig. 12 : Maquette tactile - Cité de la science et de l'industrie

## //4. L'accessibilité à l'information, à la culture

Pouvoir se déplacer indépendamment peut être considéré comme le besoin premier des personnes atteintes de cécité visuelle. Cependant, il ne peut représenter une condition suffisante dans l'intégration du handicap visuel au sein de la société. La satisfaction des besoins secondaires que représentent l'accès aux loisirs, à la culture et à l'éducation est essentielle pour éviter l'isolement que peut provoquer le handicap. Ayant pour objectif la construction d'une maquette tactile pour un lieu de culture tel que le Grand T, il devient nécessaire de s'interroger sur la ou les manières par lesquelles le public aveugle peut appréhender la culture dont la communication est aujourd'hui majoritairement visuelle.

### //4.1. La cécité dans les lieux de culture

Salle d'exposition, pièce de théâtre, photographie, sculpture et architecture sont autant de médias culturels adressés principalement pour nos yeux. Comment alors avoir accès à la culture pour le public visuellement déficient dans une société éduquée au « toucher avec les yeux » ? Malgré une augmentation des outils de médiation en faveur des aveugles, encore peu d'établissements permettent de jouir pleinement de la culture qu'ils abritent. La loi handicap du 11 février, prônant « l'égalité des chances » a rendu obligatoire l'accessibilité handicap à l'Etablissement Recevant du Public. Pourtant cette loi est le plus souvent exécutée sur la mise en accessibilité des bâtiments pour les personnes à mobilité réduite. Trop de lieux restent aujourd'hui encore inaccessible aux aveugles qui ne bénéficie donc pas d'offres de loisirs et de culture.

Des associations telles que accès culture rendent possible la mise en place d'outil spécifique permettant à tous d'appréhender la culture. Ces outils de natures sonore et tactile permettent aux non-voyants d'accéder aux arts visuels. Nous nous intéresserons dans cette partie uniquement aux outils autorisant la compréhension du public aveugle dans des bâtiments publics faisant aussi l'impasse sur ceux permettant d'apprendre et se divertir en autonomie (livre tactile, livre traduit en braille, maquette éducative).



fig. 13 : Accès culture, une association qui milite pour la culture pour tous

## //4.2. Les outils d'accès

### a. Outils sonores

#### L'audiodescription

Né au début des années 1970, l'audiodescription permet au public aveugle d'être informé, à l'aide d'un casque, sur les décors, les costumes et l'action d'un spectacle pour en favoriser la compréhension. En se rendant au théâtre ou opéra lors de séances spéciales, le non-voyant peut emprunter un dispositif audio lui permettant d'apprécier pleinement le spectacle. En coulisse, un ou deux audio-descripteurs (généralement un homme et une femme) commentent en direct, entre les dialogues, l'ensemble des éléments nécessaires à la compréhension du spectacle que le public déficient ne peut appréhender. Lors d'un entretien téléphonique avec Priscillia Desbarres, membre de l'association accès culture, celle-ci m'informe que désormais, les audio descriptions sont préenregistrées, un simple régisseur de scène intercale au bon moment le contenu de l'audiodescription. Cet accès sonore devient très répandu dans les salles de spectacles ainsi que dans quelques cinémas et sur certaines chaînes télévisées.

#### L'audio guide

L'audio guide permet la description commentée d'une visite. Véritable guide portable, ce petit appareil audio permet de laisser le visiteur libre de son parcours. De petites séquences audio, présentant de manière concise et complète une œuvre, sont ainsi préenregistrées et sont déclenchées manuellement par le visiteur lors de son parcours. Utile aux non-voyants, cet outil l'est également pour le voyant qui peut regarder tout en écoutant des informations complémentaires sur une œuvre, de manière instantanée. Cependant, dans le cas où les œuvres sont purement visuelles, l'audioguide ne représente pas un outil permettant une pleine appréciation de l'œuvre par le public aveugle. Les explications sonores ne permettent pas en effet de vivre l'expérience interactive entre spectateur et œuvre que l'on retrouve en contemplant un tableau, une photographie, un mobilier ou encore une sculpture.



fig. 14 : L'audio guide, un compagnon de musée utile

### *b. Outils tactiles*

En plus d'un accès à l'information, les outils tactiles permettent une forte interaction avec les œuvres. Quelques musées proposent des œuvres ou reproduction d'œuvre manipulable par le public déficient mettant fin au règne de la doctrine « toucher avec les yeux » pour celle de « voir avec la main ». Ce nouveau type d'exposition est notamment facilité par des moyens technologiques de plus en plus efficaces permettant de reproduire aisément, en relief, des œuvres visuelles.

#### Images tactiles

Les images tactiles permettent au public aveugle d'appréhender tactilement ce que la vision peut apprécier d'un tableau, photographie ou toute œuvre picturale visuelle en deux dimensions. Pour leur création, les données visuelles sont hiérarchisées puis simplifiées au maximum pour ne rendre tactilement perceptible que l'essentielle du message d'une œuvre. Plusieurs techniques d'images tactiles existent donnant lieux à des expériences et interprétations tactiles différentes.

# Images aux contours en relief

# Les formes texturées

# Les images bas-relief plates

# Les images bas-relief



fig. 15 : Reproduction tactile de tableau - Musée du Prado (Barcelone)

La difficulté dans la création d'image tactile réside dans la prise en compte des différentes cécités existantes. En effet, un aveugle tardif, du fait de son expérience visuelle antérieure, sera beaucoup plus averti dans le décryptage d'un message visuel tactilement représenté qu'un aveugle précoce. Une première approche privilégie la recherche d'une efficacité tactile informative. Dans un but pédagogique, cette méthode de représentation simplifiée permet de représenter l'œuvre par des formes simples tactilement reconnaissables pour comprendre sa composition, sa structure. Cette solution permet aux aveugles précoces et tardifs de comprendre quels codes visuels ont été utilisés dans le tableau (composition du tableau, proportions, premier plan ...). La deuxième respecte l'intention de l'artiste pour faire partager l'émotion esthétique. Cette deuxième méthode privilégie la retranscription du message sensible transmis par le tableau. Dans ce cas ce sont plus les codes esthétiques visuels qu'il faut essayer de traduire tactilement. Leur compréhension totale requiert souvent des connaissances visuelles antérieures et sont indescriptible pour un aveugle précoce.

En tant que représentation du réel en 2 dimensions, il n'est pas toujours aisé pour un public aveugle d'appréhender et de comprendre une image tactile. Une représentation en 3 dimensions permet une meilleure analogie avec le réel et donc une meilleure compréhension.

### Reproductions 3D tactiles

Les reproductions tactiles sont des représentations en 3 dimensions partielle ou globale d'une œuvre, d'un objet ou d'un monument. L'œuvre représentée est légèrement simplifiée et proposée au public aveugle qui peut alors l'explorer tactilement.

Ces dernières peuvent être réalisées à la main ou à l'aide d'imprimante 3d. Les matériaux composant la maquette sont choisis pour leur qualité thermique (chaud / froid), leur texture (doux / rugueux) et leur robustesse. La démocratisation des imprimantes 3d permet une plus large reproductibilité des œuvres. Cependant, les matériaux utilisés dans ce procédé sont moins représentatifs du réel.



**fig. 16 : Galerie tactile - Musée du Louvres (Paris)**

Réalisée à dimension humaine, elle favorise les interactions entre voyants et non-voyants. La fréquentation de la galerie tactile du Louvres, dans lesquelles des moulages d'œuvre sculpturale sont exposés pour être touchés, montre l'intérêt des voyants pour une expérience tactile de l'art. Mettant ainsi aveugle et voyants sur le même pied d'égalité et favorisant les échanges culturels.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR





# hypothèses



exploration haptique de l'espace

# #1// le toucher

Faute de l'usage de la vue, il est possible pour le public aveugle, dans une certaines mesures, d'appréhender l'espace avec le sens du toucher.

Ce dernier est en effet un excellent moyen d'améliorer la création de la carte mentale nécessaire à la connaissance d'un lieu.

Cependant, et comme le disait Léonard de Vinci, le toucher a connu beaucoup plus d'interdits que la vue ou l'ouïe. Les nouvelles technologies permettent de remettre au goût du jour ce sens primordial de découverte du monde.

Privé du sens de la vue, l'aveugle utilise l'ensemble des autres sens pour appréhender notre monde. La représentation de l'espace, majoritairement visuelle, devient dès lors possible grâce au sens de l'ouïe et du toucher. La prédominance des systèmes d'aide à l'accessibilité, étudiés précédemment, utilisant ces deux modalités sensorielles illustre bien leur rôle compensatoire de la vision.

## //1. Mécanisme

Dans ce travail de mémoire, nous allons focaliser l'attention sur le sens si particulier qu'est le toucher. Particulier car à l'inverse des autres modalités sensorielles, le toucher ne bénéficie pas d'organe récepteur. En effet, l'oreille est à l'ouïe et les yeux sont à la vue ce que l'ensemble de notre corps est au toucher. L'ensemble de notre peau peut ainsi être récepteur de stimuli tactiles rendant sa compréhension très complexe.

La surface de la peau se distingue en deux zones bien distinctes :

# **Les zones pileuses** (90%) pourvues de récepteurs de type terminaisons nerveuses libres enroulées autour des follicules pileux, très sensibles aux vibrations.

# **Les régions lisses ou zone glabre** (10%), plus sensibles, également composées de terminaisons nerveuses libres auxquelles s'ajoutent les récepteurs caractéristiques suivants :

- Les **corpuscules de Meissner** réagissent au toucher ou effleurement léger (comprises entre 5 et 200Hz) ainsi que les objets en mouvement rapide sur la peau (fourmis, mouche ...). Leur sensibilité les rend directement impliqués dans la discrimination et la localisation spatiale.

- Les **corpuscules de Pacini** réagissent, au contraire, aux vibrations intenses et profondes (30 à 1500 Hz) et sont particulièrement efficaces pour des pressions avoisinant le 300Hz. Elles sont capables de détecter le début et la fin d'une pression et sont donc sensibles aux déformations et aux mouvements.

- Les **cellules de Merkel** se situant dans la couche basale de l'épiderme sont des mécano-récepteurs responsables de la sensation tactile fine qui détectent des déformations localisées. Elles renseignent sur la forme et la texture des objets touchés.

- Les **corpuscules de Ruffini** qui détectent la pression et la direction des étirements de la peau.

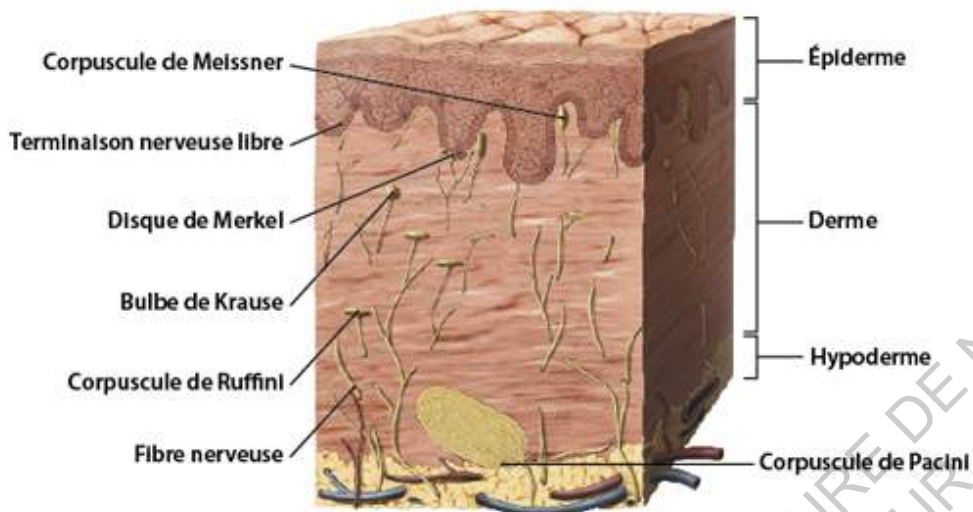


fig. 17 : Représentation en coupe de la peau humaine

L'ensemble des informations reçues par la peau est ensuite analysé dans le cortex somatosensoriel. Celui-ci est divisé en une succession de segment correspondant chacun à une partie du corps bien distincte.

Alors, ce qui différencie la précision tactile d'une partie du corps à une autre c'est la densité variée de ses récepteurs sensoriels. Certaines parties du corps sont ainsi plus sensibles que d'autres. Nos extrémités sont en effet dotées d'une forte densité de récepteurs les rendant capables d'interagir plus efficacement avec le monde extérieur.



fig. 18 : Homonculus, mise en évidence des différentes densité de recepteurs sensoriels

De plus, de nombreuses expériences ont montré la prédominance de la main dans l'acuité tactile. L'acuité tactile est la mesure de la plus petite distance entre deux points de la peau à partir de laquelle 2 stimuli différents ne sont pas perçus. De récentes expériences ont montré que aveugles et voyants possédaient la même acuité tactile. Preuve que l'efficacité de la perception tactile relève plus de l'expérience. La pulpe de l'index arrive à discriminer 2 pressions différentes à partir de 3mm d'écart contre 4 pour les lèvres et 6 pour l'extrémité de la langue.

Les mains sont donc les outils les plus précis pour appréhender l'espace. On distingue cependant, une différence de sensibilité entre les doigts. La pulpe de l'index et, dans une moindre mesure, le majeur et le pouce sont les parties comportant le plus de récepteurs. À l'image de l'œil ces zones sont appelées des « fovéas tactiles », c'est-à-dire des surfaces réceptrices possédant un seuil de discrimination bien plus fin que les autres.

## //2. Perception tactile passive / active

Selon Yvette Hatwell, On distingue deux perceptions tactiles manuelles différentes. La perception cutanée et la perception haptique.

# **La perception cutanée ou passive** résulte de la stimulation d'une partie de la peau alors que le segment corporel qui la porte est totalement immobile. C'est ce qui se produit lorsque le dos de la main repose sur une table et qu'un objet pointu est déplacé sur sa paume. Dans ce cas, comme seule la couche superficielle de la peau est soumise à des déformations mécaniques, le traitement perceptif ne concerne que les informations cutanées liées au stimulus appliqué sur la main.

# **La perception active ou haptique** (terme introduit en psychologie par Revesz) résulte de la stimulation de la peau par des mouvements actifs d'exploration de la main entrant en contact avec des objets. C'est ce qui se produit quand, par exemple, la main et les doigts suivent le contour d'un objet pour en apprécier la forme. Dans ce cas, il s'ajoute nécessairement à la déformation mécanique de la peau celle des muscles, des articulations et des tendons qui résultent des mouvements d'exploration. De plus, sur Terre, la main ou le bras vont être soumis à la gravité et les forces déployées par le système proprioceptif vont non seulement être intégrées par le système nerveux central dans un but purement « moteur » mais vont être perçues par le système en termes de « sens de l'effort ». Par exemple, la longueur, voire la forme d'un objet non vu mais activement déplacé dans ce champ gravitaire peuvent être perçues grâce au tenseur d'inertie (Turvey, 1994) sur le dynamic touch. Des processus très complexes sont impliqués ici car ils doivent intégrer simultanément les informations cutanées et les informations proprioceptives et motrices liées aux mouvements d'exploration cutanées pour former un ensemble indissociable appelé perceptions haptiques.

### //3. Différence entre la perception tactile et visuelle

Contrairement à l'œil, la main est un organe doté d'une fonction motrice (de transport ou de transformation des objets) en plus d'une fonction perceptive (de connaissance du monde). L'exploration par la main peut ainsi changer l'état physique et spatial des objets et des lieux. La rapidité d'exploration et de compréhension d'un espace par la vue en fait le sens premier de l'appréhension spatiale.

#### //3.1. Un interprétation morcelée

Contrairement à la vue, le toucher permet une appréhension de l'espace morcelée. Il est coutume de dire que la vision relève d'une expérience phénoménale tandis que le toucher suscite un travail cognitif. Plusieurs explorations successives sont alors nécessaires pour obtenir une image mentale de l'objet touché. Le cerveau doit alors interpréter les signaux provenant de plusieurs stimuli haptique espacés dans le temps. La perception haptique est beaucoup plus longue que la perception visuelle mais en est-elle pour autant incomplète ?

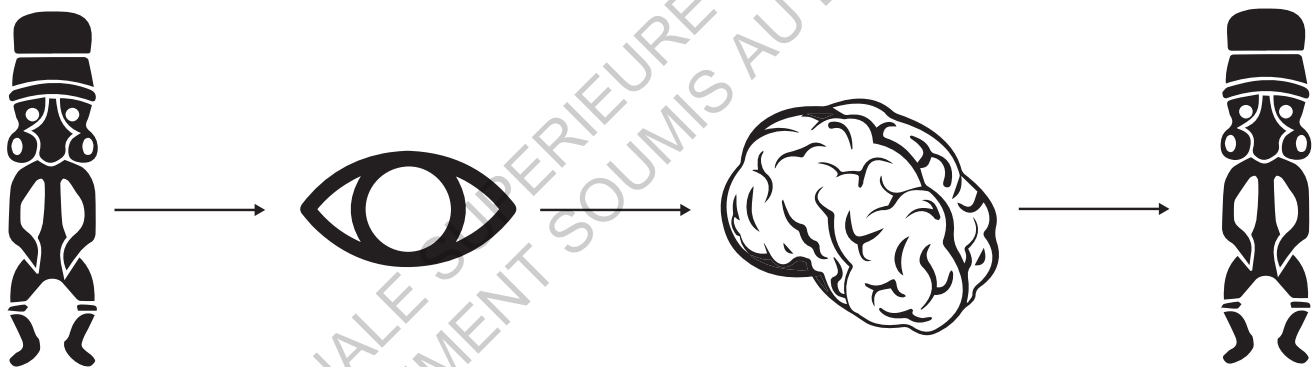


fig. 19 : Processus simplifié de perception visuel

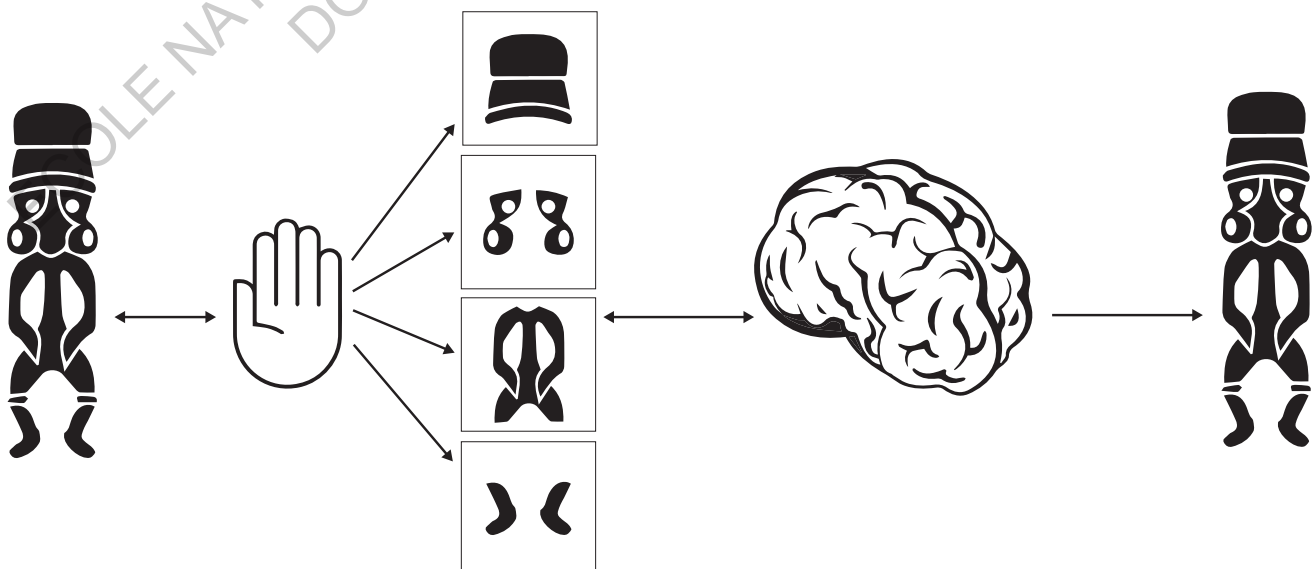


fig. 20 : Processus simplifié de perception haptique

Dans son ouvrage, *lettre aux aveugles à l'usage de ceux qui voient*, Diderot décrit le toucher comme une manière moins fautive d'appréhender le monde. Toucher est pour lui une manière plus abstraite de connaître un environnement. Cette abstraction permettant de le connaître en détail. En effet, la vue ne permet pas de voir, à distance suffisante, la face cachée d'un objet. Le cerveau recompose alors une image mentale de l'objet en 3 dimensions par analogie visuelle. Le toucher au contraire permet un renseignement sur cette face cachée et est donc une manière plus complète de l'appréhender. Prenons un exemple. Supposons qu'un cube dont une face est rendue concave est placé à moyenne distance d'un voyant. La face concave n'étant pas visible. Le voyant verra un cube normal. En lui bandant les yeux et en l'invitant à toucher cet objet, il se rendra compte, au bout d'une exploration tactile plus ou moins longue, de l'erreur de sa réponse. Le toucher est donc un moyen plus long mais plus exact d'appréhender un objet ou un espace.

### //3.2. Champ perceptif

Le point faible du toucher dans la connaissance d'un espace réside dans son champ perceptif qui est largement plus restreint que celui que la perception visuelle. Le champ tactile se définit comme la portion d'espace qui affecte les récepteurs cutanés. Contrairement aux champs visuels, celui-ci est limité aux dimensions de la zone de contact, mais sa taille peut varier suivant les organes stimulés pour l'exploration. Selon Yvette Hatwell, ce qui caractérise le champ tactile c'est son « élasticité » dû à la non conjugaison des mouvements manuels. Le champ tactile de la main est rétractable et extensible à volonté. Lors d'une exploration tactile, nous pouvons ainsi choisir d'utiliser uniquement la pulpe de l'index ou au contraire toute la face interne de nos deux mains.

Ce champ tactile est également variable en taille par le mouvement. Comme prolongement du bras, le champ tactile de la main peut considérablement s'agrandir. Cette dernière notion fait apparaître le couplage essentiel qu'entretient la perception tactile avec la proprioception, qui permet de percevoir les changements de position du corps. En plus d'analyser les stimuli reçus par la main, celui-ci doit mettre à jour à chaque mouvement la localisation de la main afin de créer une image mentale. Pour l'interprétation d'une image tactile par exemple, afin de la reconstituer mentalement, le cerveau doit savoir à chaque instant à quelle localisation se trouve un stimulus particulier. En couplant position et perception tactile, l'utilisateur peut se faire une représentation de l'objet touché.

## //4. Exploration tactile

Les études menées par Klatzky et Lederman permettent de comprendre par quels mouvements spécifiques un objet en 3 dimensions peut être discriminé par la main. Ces études ont prouvé qu'à une grandeur physique particulière correspond un mode d'exploration tactile particulier.

Par d'autres études, Yvette Hatwell, montre que l'exploration tactile est différente chez le sujet aveugles et voyants. Dans les deux cas, lorsque l'objet est de taille suffisante et posé sur un support, l'ensemble de la population à l'étude fait usage des deux mains pour la discrimination des objets.

Cette exploration bi-manuelle se fait de manière synchrone lorsque l'objet est symétrique. Les mains parcourent alors l'objet de la même manière et en miroir. Pour des objets asymétriques, le mode exploratoire est assez différent. L'exploration se fait encore une fois à l'aide des deux mains mais de manière asynchrone. Concrètement, la main gauche commence à explorer l'objet pendant que la main droite servant ainsi de point de repère. Puis la main droite explore l'objet à son tour, la main gauche étant à son tour fixe. La difficulté d'analyse et de représentation des stimuli tactiles explique ce mode exploratoire morcelé. Rare sont les sujets pouvant interpréter mentalement de manière efficace les informations issues de deux stimuli haptique différents réalisés en même temps. Cette difficulté d'interprétation mentale des signaux haptiques explique également la différence d'exploration entre voyants et non-voyants.

Souffrant d'un manque d'expérience d'interprétation haptique, le voyant utilisera moins de doigts pour l'exploration qu'un non-voyant. En effet, il a été montré que le voyant utilise généralement 1 à 2 doigts de ses mains pour la discrimination d'un objet tridimensionnel contre 4 chez les non-voyants. Cette observation montre que l'efficacité d'une exploration haptique relève de l'expérience tactile du sujet. Moins initié, le voyant utilise donc moins de récepteurs tactiles, tels que les doigts, que le non-voyant. En parcourant l'objet avec plus de récepteurs, il augmente le nombre d'informations issues des stimuli tactiles et donc complexifie la synthèse et la représentation mentale de l'objet.

Le rôle de l'expérience tactile est donc fondamental dans la discrimination haptique d'un objet. Pour autant, les méthodes d'explorations tactiles utilisées restent les mêmes. Ainsi, un mouvement latéral des doigts sur une surface permettra d'en connaître sa texture. Une pression sur une surface permet d'obtenir des renseignements sur la dureté. La forme générale et l'appréciation rapide d'un volume se fait par englobement de l'objet par les deux



mains. Cette dernière caractéristique montrant le caractère « illisible » des objets de trop grande dimension. Un contact statique sur une surface permet d'apprécier ses propriétés thermiques. Couplé à un mouvement latéral permettant d'apprécier la texture, ce dernier permet la discrimination de matériaux. Enfin, un suivi des contours de l'objet, plus long et lent, donne des informations sur la forme exacte de l'objet exploré.

Mouvement latéral  
TEXTURE



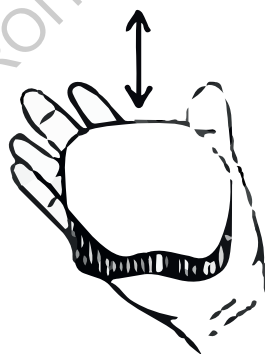
Pression  
SOLIDITE



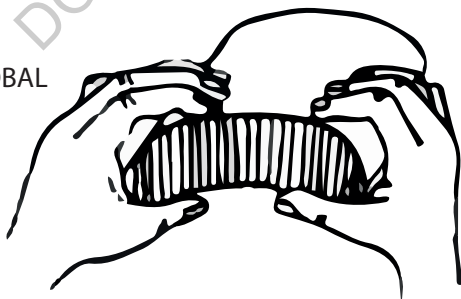
Contact immobile  
TEMPERATURE



Tenue sans support  
POIDS



Prise en main  
VOLUME GLOBAL



Suivi des contours  
FORME EXACTE

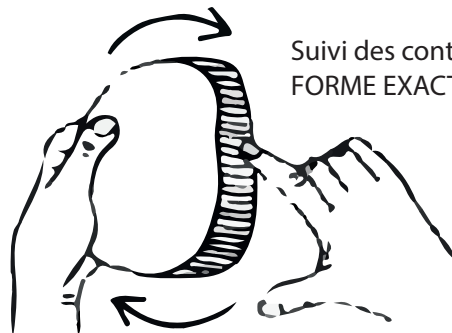


fig. 21 : Les différentes exploration tactiles selon Lederman et Klatzky

## //5. Société et toucher

Le toucher est l'un des premiers modes de communications. Dès la naissance, des informations sur l'environnement extérieur sont perçues via la peau. Phénoménologiquement, il est le sens de l'instantanéité. En effet, avant de voir un sol ou de le dessiner, nos pieds touchent ce sol, sont en contact avec lui. Il est la preuve de notre présence actuelle dans un espace. Le toucher est donc le sens du proche, du contact. Comme une première rencontre avec un lieu.

Pourtant le toucher est un sens inexploité. Marc Crunelle explique que nous vivions dans une société hyper visuelle qui ne touche plus. Premièrement, ce fait s'explique par le rôle prédominant que joue la vue dans l'appréhension de l'environnement extérieur. Nous gardons en mémoire une sensation antérieure qui se manifeste par la simple vue. Cela explique pourquoi, au contraire, les enfants touchent beaucoup. Ils se créent une bibliothèque mentale de sensation. L'utilisation du toucher intervient alors lorsque les informations fournies par notre cerveau ne coïncide pas avec ce que nous dit notre vue (oreiller en béton, drapé de bois ...). Dans ce dernier cas, nous touchons pour croire.



fig. 22 : La restriction d'un sens

Puis, le toucher entretient une étroite relation avec nos contacts sociaux. Le simple mot « toucher » ne renvoie pas uniquement à l'action de la main sur un objet. L'expression « être touché » montre la sensualité et la relation intime que nous entretenons avec ce sens. Cette notion de proximité est à la base de la dévaluation de celui-ci dans notre société occidentale. Ceci ne peut qu'être rapproché de la morale puritaine véhiculée par les religions judéo-chrétiennes, qui fondent la société occidentale depuis des millénaires qui a considérée pendant de nombreuses années le toucher comme un « danger pour la morale ». D'autres civilisations à travers le monde sont moins avares de toucher, il est utilisé comme un outil de communication à part entière.

Cependant, le développement des nouvelles technologies tendent à inverser la balance. La multiplication des surfaces tactiles dans les objets du quotidien améliore considérablement nos rapports avec le sens du toucher. De plus, les nombreuses recherches actuelles portant sur la technologie haptique promettent des interfaces graphiques simulant l'expérience réelle du toucher. Ainsi, il sera bientôt possible de reproduire et simuler les sensations de textures, douces ou rugueuses, au moyen de vibrations et de signaux infra rouges.



fig. 23 :Un incroyable pouvoir à bout de doigt - Minority Report

## #2//maquette tactile

La maquette tactile se présente comme un nouvel outil de représentation de l'architecture s'adressant non plus uniquement aux yeux et mais aussi à la perception tactile, suppléant le sens de la vue dans la perception de l'espace du public aveugle.

Dans cette partie théorique nous allons voir que même si il convient de respecter quelques critères de lisibilité dans sa conception, le choix des informations que la maquette doit fournir conditionne la forme et l'esthétique finale de celle ci.

## //1. La maquette tactile, une manière d'appréhender l'architecture

On l'a vu le champ de perception tactile est largement plus restreint que celui de la vue. De plus, certains objets de par leur très grande ou très petite dimension ne sont pas être discriminés par la personne qui ne voit pas. Comment alors donner à comprendre à un public mal voyant, ce qui n'est pas accessible par les mains ? Aujourd'hui essentiellement visuelle, la communication de l'architecture, grand objet par excellence, peut-elle devenir tactile ? En effet, comment donner à « voir » à un public mal voyant des détails de façade, aménagements d'espace, des répartitions fonctionnelles ...

En plus d'être un outil d'aide à la mobilité, la maquette tactile permet une représentation réduite en 3 dimensions d'un bâtiment ou environnement ne pouvant être connu qu'avec l'usage des yeux. Les images en reliefs peuvent également assurer son rôle de représentation. Cependant, leur efficacité est moins pertinente car elle demande un traitement de reconstruction mentale plus long. L'usage en trois dimensions favorise en effet la représentation d'un réel concret.

L'objectif de la maquette tactile est double.

Premièrement celle-ci doit être un support d'aide pour l'orientation spatiale des non-voyants. La lecture haptique de celle-ci permet d'accélérer le processus de création d'une carte mentale, essentielle pour le déplacement autonome. La représentation des points de repères fixe permette au non voyant d'améliorer sa lecture exocentrique de l'espace. Les distances entre ces repères deviennent appréciables par le toucher. Combinée au parcours du lieu, de nature plus égocentrique, la maquette tactile permet une connaissance des lieux optimale pour le public déficient.

Le deuxième rôle de la maquette est de donner l'accès à des informations qui ne peuvent être perçue par le public déficient. Volumétrie du bâti, détail de façade, principe de fonctionnement du lieu sont autant d'informations auxquelles le non-voyant ne peut avoir accès sans une réduction d'échelle permettant une lisibilité tactile.

## //2. Etat de l'art

Même si son usage est encore peu démocratisé, notamment à cause des coûts de sa conception, la maquette tactile est un secteur en constant développement. Certaines entreprises comme Tactile studio, Archi-tact ou encore la nouvelle start-up lilloise tri-D sont d'ailleurs spécialisées dans ce domaine.

Un état des lieux des maquettes existantes est nécessaire pour comprendre l'étendue et la diversité des formes que celles ci peuvent prendre. Cet état de l'art commenté est disponible en annexe de ce document. Les maquettes actuelles peuvent être distinguée par les critères suivants :

### //2.1. Matérialité

Il existe aujourd'hui deux grand type de famille de maquette tactile.

La première, spécialité de l'entreprise archi-tact, représentée par Isabelle Dapzol, utilisant les matériaux réaliste. Cette première approche permet de conserver les sensations tactiles de textures et de températures du bâtiment réel. Néanmoins leur fabrication est longue et minutieuse. Cette technique ne permet pas de reproduction rapide du modèle en cas de casse par exemple.



fig. 24 : Maquette tactile pour l'Abbaye de Mozac - Archi-tact

La deuxième utilise l'impression 3d, un domaine en pleine expansion. Principalement en plastique, il est nécessaire d'établir une charte graphique de texture. Le principal avantage de cette nouvelle technique est la facilité de reproduction du modèle. Une fois le modèle informatique créé, il est possible de l'imprimer à volonté facilitant ainsi le partage de la culture.

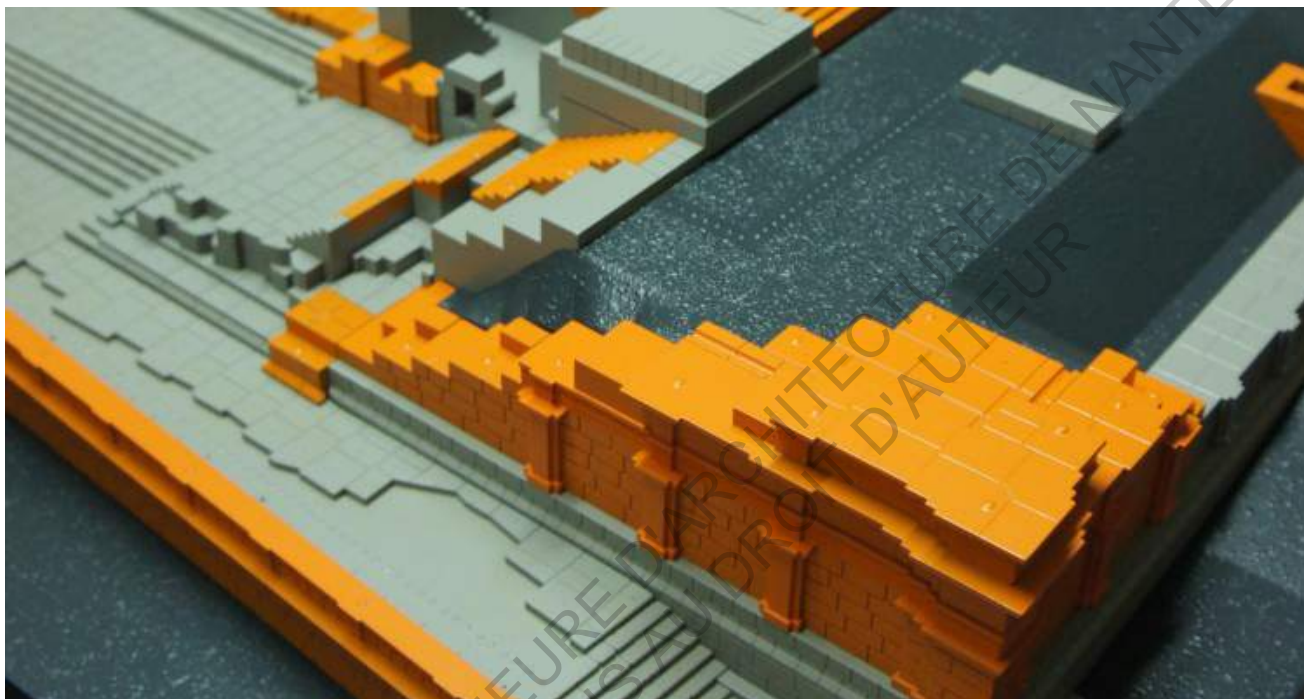


fig. 25 : Maquette tactile pour le Puy-de-Dôme - Tactile studio

## //2.2. Formes

Le travail de conception d'une maquette ressemble à un travail de traducteur. Ce travail consiste à exprimer un contenu ( visuel ) en adoptant l'expression d'un autre langage ( le toucher ). La forme d'une maquette tactile est fonction premièrement du bâtiment de départ mais aussi de sa fonction d'usage. A quoi doit servir la maquette tactile ? A qui s'adresse elle ? Telles sont les première questions essentielles a aborder avec attention lors de la création d'un cahier des charges.

### Maquette schématique

Cette première catégorie de maquette propose des représentations d'un lieux à l'aide de formes symboliques. Le principal atout de cette catégorie réside dans l'aspect pédagogique qu'elle propose. En effet, souvent démontables, les maquettes schématiques permettent une très grande interaction avec le public aveugle. Beaucoup d'entre elles sont utilisées avec une médiation culturelle spécifique lors de laquelle un groupe de personnes déficientes manipulent et transforme l'objet en écoutant des explications orales.

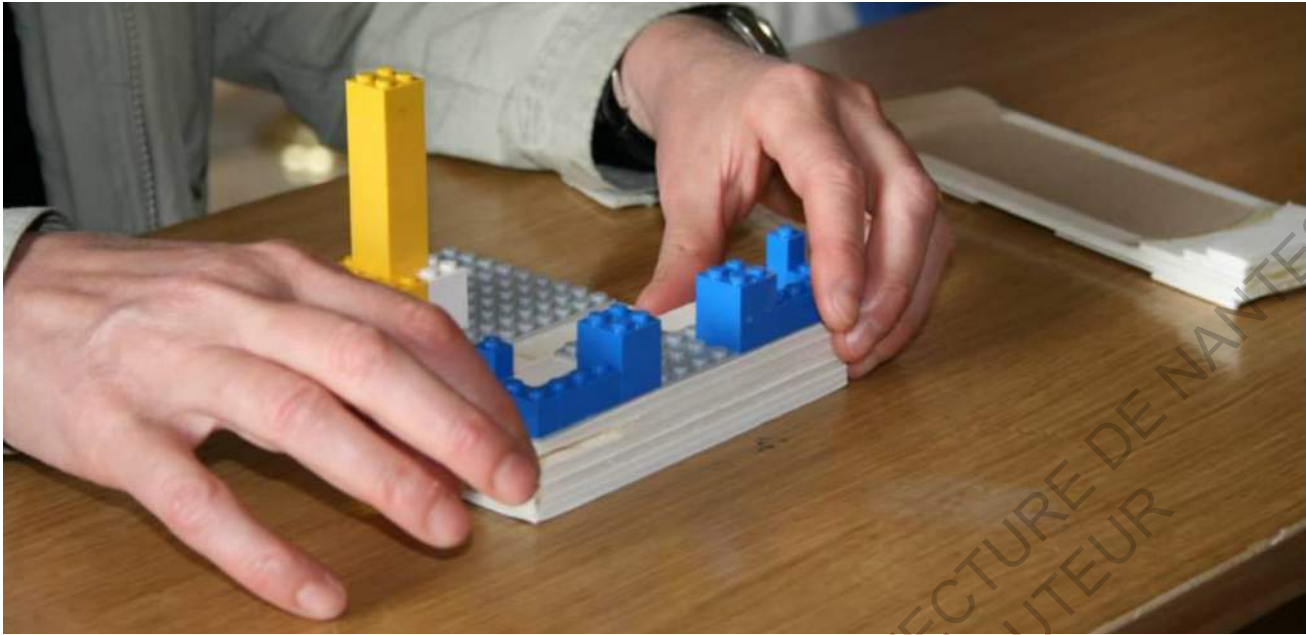


fig. 26 : Maquette tactile pour théâtre national de Chaillot

### Maquette d'aspect

La fonction principale de cette catégorie est de restituer tactilement les perceptions visuelles. Le principale objectif de celle ci est de retranscrire l'enveloppe extérieure du bâtiment. Le rendu des détails de la maquette joue un rôle important pour sa lisibilité. Le but étant de simplifier au plus juste la perception visuelle réelle. Le bâtiment devient alors un objet sculpturale que le public aveugle peut pour la première fois appréhender dans sa globalité.



fig. 27 : Maquette tactile pour l'opéra de Bordeaux - Tactile Studio



## Maquette descriptive

L'élaboration d'une maquette permet de rendre accessible des éléments que ne permet pas la référence. Il est ainsi possible de réaliser des coupes ou un découpage de celle-ci. Cette dernière catégorie permet plus de rendre compte des liens topologiques entre les espaces tout en conservant une ou partie ou l'ensemble de l'enveloppe extérieure.

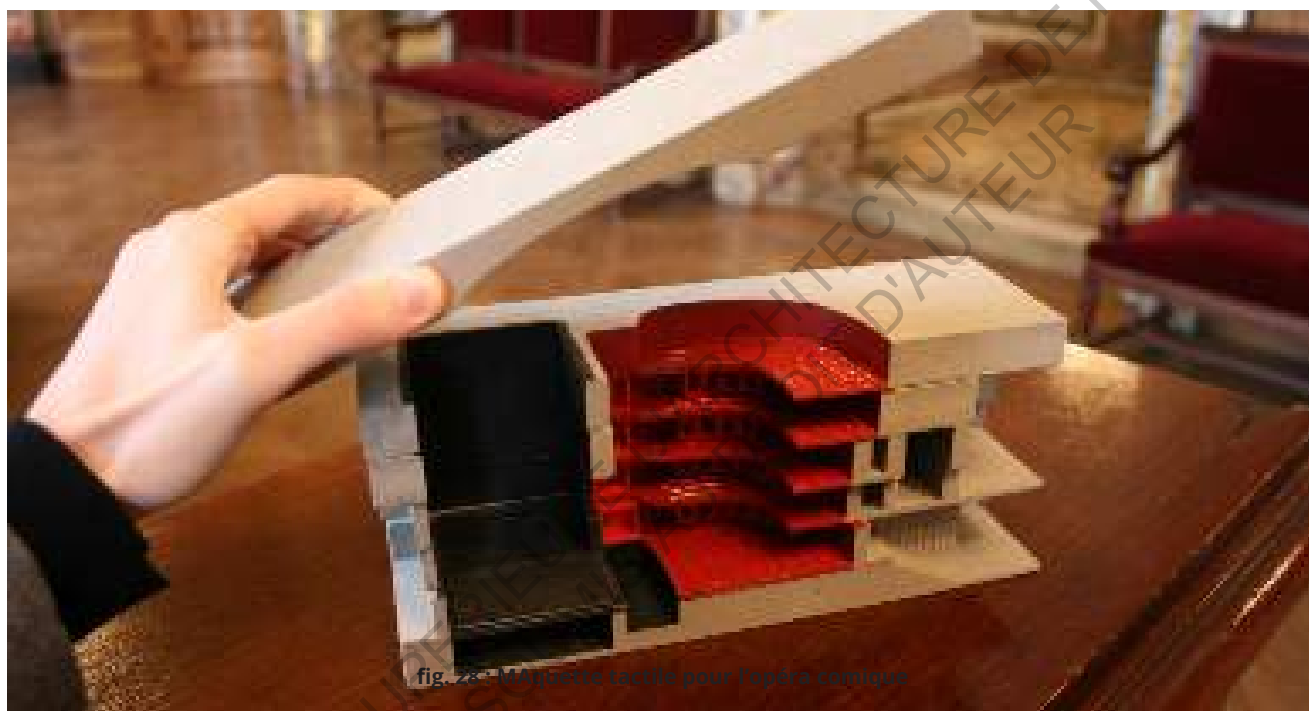


fig. 28 - Maquette tactile pour l'opéra comique

### //2.3. Discussion

Au travers de cette brève veille informationnelle, nous avons pu constater qu'il existe autant de maquette tactile que de lieux. Celles-ci se différencient bien sûr par la forme de la référence mais aussi, et surtout, par le message que la maquette veut divulguer. Il apparaît important d'établir un cahier des charges précis d'une commande de maquette tactile, celui-ci étant déterminant pour la qualité de l'ouvrage final.

Outre l'aspect esthétique, il est nécessaire de porter attention à d'autres critères améliorant la lisibilité tactile de la maquette.

### //3. Spécificité de la maquette tactile

#### //3.1. Traduction simplifiée

Nous l'avons vu précédemment, le système perceptif haptique ne permet d'appréhender l'environnement que de manière séquentielle. Afin de faciliter la compréhension, la maquette ne doit pas être un double réduit du réel. Son intérêt réside dans sa représentation simplifiée, tactilement plus lisible.

En effet, une maquette trop détaillée rend l'interprétation des stimuli tactiles très complexe. A l'inverse, une maquette avec trop peu de détail devient inutile car peu informative. Le premier travail du concepteur de maquette est de comprendre le public visé par sa construction puis de définir le ou les messages principaux qu'elle doit transmettre. Ces deux phases essentielles permettent d'évaluer la complexité informationnelle de la maquette autrement dit, le nombre d'éléments distincts à une surface ou un volume donné. Cette complexité informationnelle dépend donc de la fonction de la représentation (que doit-on montrer ?), ainsi que des contraintes dimensionnelles (quel est le facteur de réduction de la maquette ?). La concision est un travail essentiel dans la construction d'une maquette tactile, dire le plus avec le moins, voilà l'enjeu.

De plus le phénomène d'ombre tactile invite à simplifier une nouvelle fois les éléments de représentation. On parle d'ombre tactile quand un élément très saillant forme une « ombre » autour de lui en rendant l'accès à leur base très difficile. Cette dernière notion fait appel à l'étude de la main en tant qu'objet physique pour en connaître ses dimensions. Il faut donc accorder une attention particulière au vide qui sépare les éléments en relief.

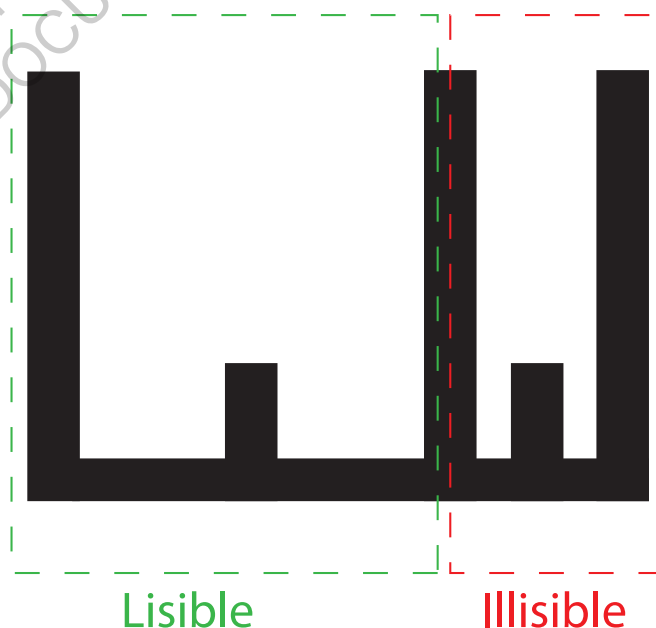


fig. 29 : Mise en évidence schématique du phénomène d'ombre tactile

### //3.2. La notion d'échelle

Il nous est très facile de comprendre une réduction d'échelle par la vue. Mais qu'en est-il par le tactile ? De plus, l'architecture étant la plupart du temps uniquement vécu elle ne peut faire l'objet d'une représentation mentale préalable permettant de comprendre l'acte de réduction que représente la maquette.

Le choix de l'échelle de représentation est d'abord facteur du champ perceptif haptique. La taille maximale idéale étant fonction de la capacité que l'utilisateur va développer pour embrasser l'objet sans déplacer son corps. Une maquette tactile trop grande sera donc difficile à interpréter et donc devient illisible. Même si il n'existe pas de cadre général, il est d'usage de ne pas dépasser les dimensions suivantes pour un sujet adulte :

# **Longueur** : 50 cm

# **Hauteur** : 30 cm

# **Profondeur** : 30 cm

Une maquette plus grande peut être envisagée mais nécessitera une plus grande simplification pour pouvoir être lisible.

Pour donner à comprendre le facteur de réduction, des repères tactiles sont essentiels. La réduction d'un objet largement connu par le public aveugle est une aide précieuse pour comprendre l'échelle de la représentation. Cette indication jouant le rôle d'échelle graphique peut être directement en place sur la maquette ou reléguée dans la légende tactile, permettant une aide la compréhension du modèle.

La tâche devient plus compliquée lorsqu'il est nécessaire de combiner différents éléments tactile aux messages et échelles différentes. Un travail sur le lien entre les différentes représentations ainsi que la compréhension directe du changement d'échelle est alors nécessaire.

### //3.3. Localisation de l'utilisateur / Point de repère

Pour être un performant comme outil d'orientation, le public déficient doit savoir où il se situe dans l'espace représenté. Cette localisation favorise l'appréciation des distances entre l'utilisateur et les points de repère fixe structurant l'espace. Le sujet améliore alors sa vision égocentrique des lieux.

### //3.4. Textures

Les textures sont au toucher ce que les couleurs sont à la vue. Beaucoup plus perceptible avec la main que l'œil, les textures permettent une meilleure compréhension ou la création d'une esthétique haptique d'une maquette. La mise en place de texture permet de coder les relations topologiques, de voisinage entre les objets. Leur utilisation peut en effet faciliter la discrimination de deux objets distincts ou les rapports de continuité. Avec l'utilisation d'une légende, la texture tactile représente un support de codage d'une propriété de la région spatiale qu'elle représente (matériau de construction utilisé, principale fonction d'un espace ...).

Dans le cas d'une impression 3d, il est toutefois important de noter que les textures utilisées ne doivent pas être une reproduction exacte du réel. Une charte graphique de celle-ci est donc à penser en amont en fonction de leur usage. Celle-ci doit respecter les critères suivant

#### # Critère de lisibilité tactile

L'acuité tactile permet de discriminer deux éléments distincts distancés d'au minimum 2.3 mm Ce premier critère, utilisé notamment dans la réglementation du braille, impose une première distance minimale à respecter dans la répétition de motif.

#### # Choix du motif

Il est conseillé de faire le choix de motifs simples, permettant ou non de s'approcher de la texture réelle d'un objet. L'usage d'un unique motif (point ou ligne) permet, en variant le pas, une meilleure lecture d'information de même nature. Dans tous les cas, un contraste fort doit être créé entre deux surfaces texturées différentes pour que celle-ci ne soit pas confondue. Ce contraste peut se faire par changement de graisse du motif, de pas ou bien de forme.

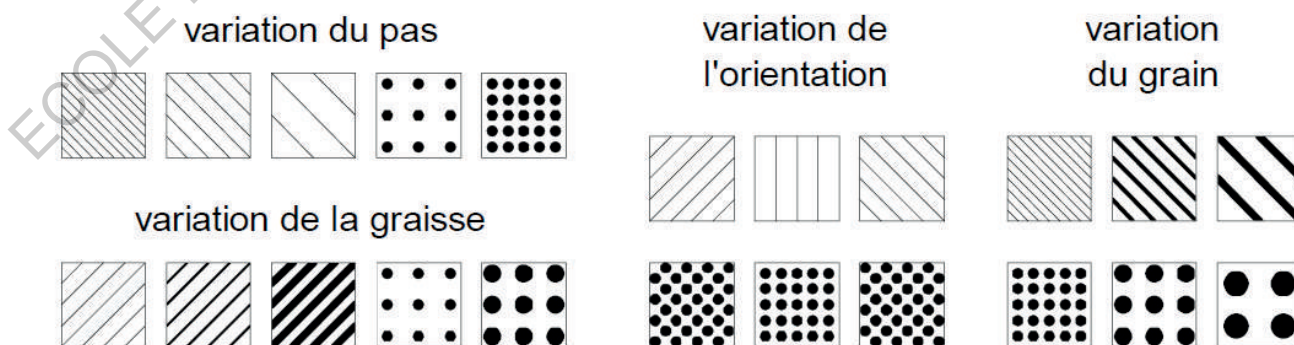


fig. 30 : Présentation des caractéristiques de textures

### # Proportions plein / vide

Il est coutume de dire qu'une forme peut être perçue autant par le plein que par le vide qui l'entoure. Comme dans une composition graphique visuelle, le vide entre les objets tient une place importante pour une transcription tactile d'une information.

### # Distance avec un contour

Il est préférable de distancer les surfaces texturées des contours qui les créent. De manière générale, un contour en relief agit comme un guide dans la perception haptique des formes. Mobilisant ainsi le toucher actif ou proprioceptif. La texture elle peut se lire de manière passive. Trop près du contour, la personne aveugle aura de grande chance de confondre la texture avec la forme dessinée.

### # Orientation

Le choix de l'orientation est un critère essentiel à prendre en compte pour la lisibilité d'une texture avec des motifs de lignes. Cette orientation dépend majoritairement du sens de lecture. Ainsi, une texture composée de motif linéaire verticaux sera discriminable avec une exploration tactile horizontale mais illisible dans le sens contraire. Dans l'exploration d'un objet en 3d, il est important de pouvoir lire les textures dans l'ensemble des dimensions que l'exploration tactile propose. Le choix de texture type point ou polygone fermé est donc conseillé.

## Orientation et perception de la trame

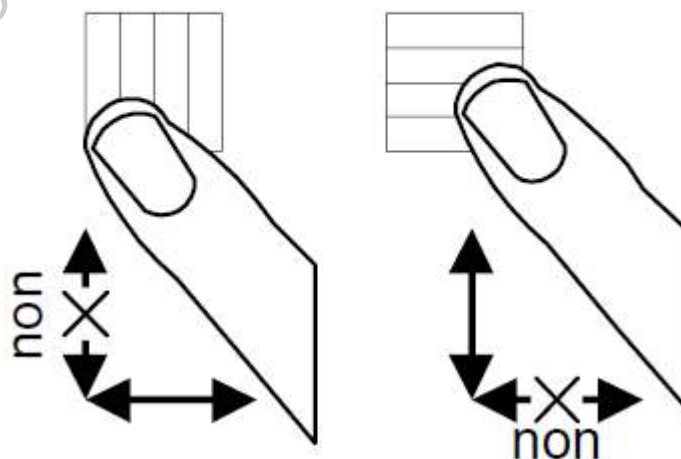


fig. 31 : L'orientation d'une texture conditionne sa lisibilité

### //3.5. Un média tout public

Contrairement aux documents tactiles en braille, l'intérêt de la maquette ne se justifie pas essentiellement pour le public non-voyant. La réduction d'échelle rendu possible par la fabrication d'une maquette d'un lieu permet également au public voyant d'appréhender la totalité d'un espace, de voir les connexions spatiales, d'apprécier une volumétrie globale.

Dans un souci de « design for all » la maquette tactile est donc un outil de double lecture autorisant le partage d'une culture commune.

Ainsi, la simplification formelle utilisée pour une meilleure communication tactile pour le public non voyant doit également permettre une compréhension visuelle de l'objet. Ce travail est d'ailleurs plus aisé dans le cas d'un objet tridimensionnel qu'est la maquette par rapport au support de communication plan tel que les plans ou dessins tactiles. Par exemple, en tant que code visuel, la perspective est totalement inconnue du public visuellement déficient. L'élaboration d'un dessin de représentation d'un lieu compréhensible par tous devient alors difficile.

Dans le cas où la compréhension de la maquette oblige l'utilisation de symbole. L'élaboration de ces derniers doit être à la croisée de la simplification visuelle et tactile.

Enfin, il est préférable d'utiliser la couleur. Même si elle n'est pas perceptible chez les non-voyants cette dernière permet une meilleure lisibilité pour le public voyant. L'utilisation de couleur réaliste est compliquée, particulièrement en impression 3d. Il est donc préférable de choisir des couleurs vives contrastées, perçues par un public malvoyant, permettant une meilleure utilisation pédagogique de la maquette.



fig. 32 : La maquette tactile favorise une expérience commune entre voyant et non-voyant

## //4. L'impression 3d

### //4.1. L'accessibilité du futur

Le développement des nouvelles technologies augmente considérablement notre usage du toucher. Même si leur utilisation est encore marginale en France, l'essor que connaît les imprimantes 3d dans d'autres pays promettent un meilleur accès à l'information par le toucher. Au Japon par exemple, certaines salles de classes sont déjà équipées d'imprimantes 3d que l'enfant peut utiliser lors de son apprentissage de la langue. Il est en effet prouvé que la complémentarité de la vue avec le toucher augmente considérablement l'apprentissage. Une autre application remarquable est celle du projet Touchable Mémoires consistant à l'impression de souvenirs en 3d pour une personne aveugle. Des photos sont ainsi scannées puis reproduites en 3 dimensions pour permettre à la personne visuellement déficiente d'accéder à la plus noble des informations, le souvenir.



**fig. 33 : Un jeune homme aveugle replongé dans le souvenir de son enfance**

Jamais la culture n'a été aussi proche de nos doigts, l'utilisation des imprimantes 3d pourrait alors révolutionner l'accès à la culture chez le public aveugle. La banque de modèles 3d disponible sur internet prêt à imprimer, en constante augmentation, permettra une connaissance quasi sans limite. D'un simple clic, la personne handicapée pourra alors imprimer à domicile, une infinité de représentations.

Concernant la maquette tactile, l'impression 3d permettra une grande rapidité dans la reproduction de bâtiments. Elle permet aussi à deux maquettes identiques d'être présentes dans deux endroits différents, supprimant ainsi les éventuels transports que le support qu'est la maquette supporte mal.

## //4.2. Techniques d'impression 3d

On distingue trois grandes familles de procédé d'impressions 3D :

- # Le dépôt de matière
- # La solidification par la lumière
- # L'agglomération par le collage

Bien que différentes, le principe de ces technique est toujours le même. Il consiste à superposer des couches de matières avec une imprimante 3D selon les coordonnées transmises par un fichier 3D. Le format de l'export de ce dernier étant déterminant pour l'impression.

### a. Impression par dépôt de matière

#### Le FDM ou FFF

La majorité des imprimantes 3D personnelles fonctionnent selon ce principe. FDM est l'acronyme anglais de Fused Deposition Modeling qui signifie « modelage par dépôt de filament en fusion ». On parle aussi de FFF (Fused Filament Fabrication) voir même de MPD (Molten Polymer Deposition). Cette technique consiste en fait à déposer couche par couche un filament de matière thermoplastique fondu à 200°C (en moyenne) qui en se surperposant donne forme à l'objet. La tête d'impression se déplace selon les coordonnées X, Y et Z (longueur, largeur et hauteur) transmise par le fichier 3D utilisé. Limitée pendant longtemps à des matériaux de type plastique tels que les classiques PLA et l'ABS, l'impression 3D voit arriver de nouveaux filaments composites à base de métal (cuivre, bronze...) et même de bois. Plus rarement certaines machines utilisent des cires ou des polycarbonates. A l'heure actuelle l'industrie agroalimentaire et la médecine sont en train de s'emparer de cette technique pour imprimer des aliments et des cellules en adaptant la tête d'extrusion.

### b. Solidification par la lumière

#### La stéréolithographie ou SLA

La stéréolithographie est la première technique d'impression 3D connue. Appelée aussi SLA (Stéréolithographie Apparatus) cette technique consiste à solidifier un liquide photosensible par le biais d'un rayon laser ultraviolet. Les imprimantes fonctionnant par SLA ont quatre parties principales: un réservoir qui peut être rempli avec un liquide photopolymère, une plate-forme perforée qui est descendue dans le réservoir, un rayonnement ultraviolet (UV) et d'un ordinateur commandant la plate-forme et le laser.



Tout comme la FDM, l'imprimante va dans un premier analyser le fichier CAO, puis en fonction de la forme de l'objet va lui ajouter des fixations temporaires pour maintenir certaines parties qui pourraient s'affaisser. Puis le laser va commencer par toucher et durcir instantanément la première couche de l'objet à imprimer. Une fois que la couche initiale de l'objet a durci, la plate-forme est abaissée, est ensuite exposée une nouvelle couche de surface de polymère liquide. Le laser trace à nouveau une section transversale de l'objet qui colle instantanément à la pièce durcie du dessous.

Ce processus se répète encore et encore jusqu'à ce que la totalité de l'objet ce soit formé et soit entièrement immergé dans le réservoir. La plateforme va ensuite se relever pour faire apparaitre l'objet fini en trois dimensions. Après qu'il ai été rincé avec un solvant liquide pour le débarrasser de l'excès de résine, l'objet est cuit dans un four à ultraviolet pour durcir la matière plastique supplémentaire.

Les objets fabriqués selon la stéréolithographie ont généralement une bonne qualité de finition et de détail (0,0005 mm) on obtient des surfaces bien lisses et régulières. Qualitativement elle fait partie des meilleurs techniques d'impression 3D actuellement. La durée nécessaire pour créer un objet avec cette technique dépend également de la taille de la machine utilisée. La SLA a aussi l'avantage de pouvoir produire de grosses pièces (de plusieurs mètres). Pour ces objets là il faudra plusieurs jours, quelques heures pour les plus petites.

Parmi ces inconvénients, un coût plus élevé que la FDM et un panel de matériaux et des coloris plus limité du fait des polymères utilisés comme matière première. Les solvants et les liquides polymères dégageant par ailleurs des vapeurs toxiques durant l'impression, votre local devra être équipé d'une hotte aspirante pour l'aération.

### La Polyjet

Cette Technologie brevetée par la société israélo-américaine Objet Geometries Ltd, fonctionne aussi sur le principe de photopolymérisation. De la même manière, l'objet sera modélisé en 3D avec un logiciel spécialisé (AutoCAD par exemple) puis son fichier envoyé à l'imprimante. Les têtes d'impressions vont alors déposer en goutte à goutte de la matière photosensible sur un support de gel, selon les coordonnées transmises par le fichier. Une fois la matière déposée, celle-ci va être exposée à un rayon ultraviolet qui va alors la durcir instantanément. L'opération sera répétée jusqu'à obtention de l'objet final, il ne restera alors plus qu'à le nettoyer. Avec une précision de l'ordre de 0,005mm il est possible de réaliser des objets avec un haut niveau de détail et des pièces d'assemblage pouvant s'imbriquer comme des engrenages.

Objet Geometries a par la suite affiné cette technique en mettant au point Polyjet Matrix. Avec 96 embouts pour chacune de ses têtes d'impression, il est possible pour l'utilisateur

de combiner plusieurs matériaux différents, souples ou plus rigides. En vous permettant de créer votre propre composite, ce procédé vous offre la possibilité d'imprimer des objets plus variés et plus complexes.

### Le frittage laser

Appelée aussi SLS (Selective Laser Sintering), il s'agit également d'un processus d'impression par laser. Un faisceau laser très puissant fait fusionner une poudre (1mm d'épaisseur) à des points très précis définis par le fichier STL. Sous l'effet de la chaleur, les particules de poudre fondent et fusionnent entre elles. Une nouvelle couche de poudre fine est ensuite étalée et à nouveau durcie par le laser puis reliée à la première. Cette opération est répétée plusieurs fois jusqu'à ce que votre pièce soit finie. Pour les finitions, un ponçage et un brossage sont souvent nécessaires.

Sur le même principe on retrouve aussi le DMLS qui est l'abrégié de Direct Metal Laser Sintering. Ce procédé permet de réaliser des objets en métal en fusionnant cette fois une poudre de fines particules métalliques. Presque tous les métaux peuvent être utilisés, cela va du cobalt au titane en passant par l'acier et des alliages comme l'Inconel.

Même si sa précision d'impression est inférieure au SLA, le frittage laser permet de fabriquer des pièces avec un niveau de détail assez élevé (0.1mm) et à géométrie complexe. De plus la poudre restante qui n'aura pas été passée au laser pourra être réutilisée la fois suivante. Généralement les pièces obtenues avec ce processus demande davantage de finitions (ponçage, peinture, vernis...) que le SLA du fait de son rendu un peu granuleux.

c.L'agglomération de poudre par collage

### La 3DP

Initialement développé en 1993 au Massachusetts à l'Institut of Technology (MIT) en 1993, 3DP (Three-Dimensional Printing) constitue la base du processus d'impression 3D de Z Corporation. Le procédé consiste en l'étalement d'une fine couche de poudre de composite sur une plateforme. La tête d'impression va alors déposer sur celle-ci de fines gouttes de glue colorées qui combinées entre elles permettent d'obtenir un large panel de couleur. La plateforme s'abaisse au fur et à mesure que les couches de poudre sont collées jusqu'à obtenir l'objet final. Pour la finition il faut aspirer l'excédent de poudre, brosser et/ou poncer la pièce, puis la chauffer pour finaliser la solidification. La 3DP a l'avantage d'être rapide et de proposer une large gamme de couleurs. Jusqu'à 6 fois moins chère qu'une imprimante SLA son prix est plus attractif malgré une précision et une qualité d'impression parfois inférieure. Parmi les inconvénients, sans traitement post-impression les pièces sont plus fragiles et leur

surface est plus rugueuse.

## //4.2. Matériaux

### ABS

Ce plastique des briques de Lego appartient à la famille des thermoplastiques mais contient une base d'élastomère à base de polybutadiène qui le rend souple et résistant aux chocs. L'ABS (acrylonitrile butadiène styrène) fond entre 200 et 250 °C et peut supporter des températures très basses (- 20 °C) comme élevées (80 °C). En plus de sa bonne résistance, ce matériau permet d'obtenir une surface polie, est réutilisable et peut être soudé par procédés chimiques (en utilisant l'acétone). Cependant, il n'est pas biodégradable et rétrécit au contact de l'air, raison pour laquelle la plateforme d'impression est chauffée afin d'éviter le décollement des pièces.

L'ABS est employé principalement dans la technique de dépôt de matière fondue (FDM) mais des dérivés, sous forme liquide, sont utilisés dans les procédés SLA et PolyJet.

### PLA

Entièrement fabriqué à partir de matières renouvelables (amidon de maïs), ce polymère (acide polylactique) est biodégradable et non toxique. L'une de ses caractéristiques principales est son faible rétrécissement à l'impression 3D, raison pour laquelle des plateaux chauffants ne sont pas nécessaires lors de l'impression par la technique FDM (à 185 °C) et l'on obtient des pièces d'une meilleure précision. En comparaison avec l'ABS, le PLA est plus difficile à manipuler du fait de sa vitesse élevée de refroidissement et de durcissement. Il peut également s'abîmer et se déteindre au contact de l'eau.

Le PLA est employé uniquement à partir de la technique FDM. Le panneau de couleur proposé par ce matériau est assez large.

### POLYAMIDES

Étant constitué de structures semi-cristallines, ce matériau présente un bon compromis entre caractéristiques mécaniques et chimiques, d'où sa stabilité, rigidité, flexibilité et sa résistance aux chocs. Comme le PLA, celui-ci est non toxique et biodégradable. Ces avantages donnent lieu à une large gamme d'applications et un grand niveau de détail. Une qualité supérieure est disponible pour la fabrication d'engrenages, des pièces pour l'aérospatiale, l'automobile, la robotique, des prothèses médicales ou des moules pour l'injection.

Les objets en polyamides sont souvent fabriqués à partir d'une poudre fine, granuleuse et blanche en utilisant la technologie du frittage sélectif par laser (SLS), mais certaines familles de ce matériau, comme le nylon, se présentent sous la forme d'un filament et s'utilisent avec la technique de dépôt de matière fondue (FDM).

## ALUMIDE

Les objets en alumide sont fabriqués à partir d'une combinaison entre polyamide et aluminium en poudre. Avec une surface légèrement poreuse et d'un aspect sableux et granuleux, ce matériau offre une grande solidité, une haute résistance à la température (172 °C max.) et aux chocs et une relative flexibilité. Des opérations telles que le meulage, polissage, revêtement et fraisage sont nécessaires après impression. L'alumide est utilisé pour des modèles complexes, pièces de conception ou pour des petites séries de modèles fonctionnels, ayant besoin d'une rigidité importante et d'un aspect proche de l'aluminium.

L'alumide s'utilise grâce à la technologie de frittage sélectif par laser (SLS).

## RÉSINES

Les résines peuvent être thermoplastiques ou thermodurcissables (polymérisation) et elles constituent le matériau de base de plusieurs techniques comme la stéréolithographie (SLA) et le PolyJet, et permettent d'obtenir des objets en finition mat ou brillant, blancs, noirs et même transparents. Ces dernières, ont une géométrie et une fonctionnalité limitées, mais la qualité et la douceur de la surface, en plus de sa transparence, sont systématiques. Dans tous les cas, il est possible de réaliser un processus de coloration et n'importe quel autre traitement post-impression.

## MATÉRIAUX DE SUPPORT

Des plastiques solubles peuvent également être utilisés pour imprimer les supports d'impression (en fonction de la complexité et de la technologie utilisée pour la pièce désirée), qui par la suite seront dissous. Les plastiques solubles les plus employés actuellement sont le HIPS (Polystyrène Haut Impact) et le PVA (Alcool Polyvinylique) que l'on peut dissoudre avec du d-limonène et de l'eau respectivement.

## //5. Conclusion

Pour palier à son manque de vision, le public aveugle peut appréhender l'espace par le sens du toucher. La maquette tactile apparaît comme un excellent outil de médiation permettant aux personnes souffrant de cécité visuelle de percevoir ce qui est normalement en dehors du champ tactile, petit et restreint. De plus, en établissant un cahier des charges précis, fixant les principaux objectifs que celle-ci doit remplir, la maquette tactile est le support idéal pour une double communication localisation/ information culturelle.

Le développement de cet outil performant est aujourd'hui fonction du domaine de l'impression 3D qui devrait se développer de 400% d'ici 2018. Cette technique de fabrication permet la construction rapide d'objet tri-dimensionnel ainsi qu'un partage sans limite. Elle représente l'avenir de l'interface entre monde visuel et la perception tactile des personnes aveugles.

L'ensemble de ce travail théorique permet d'aborder une troisième partie pratique, une réponse à une demande de maquette tactile pour un lieu de culture emblématique de la ville de Nantes, le Grand T.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



# #1 // commande

Les objectifs fixés par la loi du 11 février 2015 concernant l'accessibilité des bâtiments publics à tous font de ce travail de mémoire un sujet d'actualité.

Au cours de ce mémoire, il m'a été proposé de travailler pour un haut lieu de culture nantais, le Grand T, ayant entrepris des travaux visant à l'amélioration son accessibilité handicap.

Une véritable aubaine me permettant de transformer un travail classique et théorique de mémoire en un exercice pratique enrichissant.

La prochaine partie de ce mémoire fait état de la mission qui m'a été confiée à savoir la conception d'une maquette tactile.



## //1. Le Grand T

Inaugurée en 1983, sur les plans de l'architecte Claude JEFFROY, le Grand T est une salle de spectacle nantaise, principalement dédiée au théâtre. Anciennement connu sous le nom d'Espace 44, il est aujourd'hui dirigé par Catherine BLONDEAU qui succède à Philippe COUTANT en 2011.

La particularité de ce haut lieu de culture réside dans sa localisation géographique. Excéntrée du centre-ville, il abrite aujourd'hui une grande salle de 879 places avec un hall d'accueil ainsi qu'une plus petite salle annexe de 80 places, reconversion architecturale d'une ancienne chapelle. De plus, les salles de spectacles communiquent avec deux bâtiments administratifs sur site, une librairie et un espace de restauration présent dans le hall d'entrée de la grande salle de spectacle. Un espace public extérieur permet de se déplacer entre les différents corps de bâtiments composant le Grand T.



fig. 34 : Photographie de la grande salle de théâtre offrant 879 places

L'organisation du grand T se divise en 6 pôles à savoir :

- #Pôle de direction
- #Pôle administration
- #Pôle image et communication
- #Pôle public et médiation
- #Pôle production – spectacles projet et territoire
- #Pôle technique

Le projet de maquette tactile m'a permis de devenir stagiaire dans le pôle public et médiation dont Olivier LANGLOIS, adjoint à la directrice du pôle, Marion FRASLIN-ECHEVIN, est mon maître de stage. Les réunions autour de l'objet que représente la maquette m'ont également amené à travailler avec le pôle technique dirigé par Franck JEANNEAU.

Aujourd'hui le Grand T propose chaque année une soixantaine de spectacles différents pour un total d'environ 300 représentations. 100 000 personnes fréquentent chaque année les salles de spectacles dont 9 000 abonnés.

## //2. La demande

Suite à l'arrêté de 2005 concernant la mise aux normes des bâtiments ERP, Le Grand T entame cette saison une série de travaux visant à améliorer l'accessibilité du public handicapé, dont les personnes atteinte de cécité font partie. En plus des équipements, le Théâtre choisi de se doter pour l'automne 2015 d'un nouvel outil de médiation permettant un meilleur accueil du public aveugle.

Ces derniers n'ont pour autant pas été oubliés dans les années précédentes. En effet, de nombreux spectacles bénéficient d'un travail d'audiodescription et des visites tactiles sont fréquemment organisées pour faire découvrir par, le toucher, le fonctionnement d'un théâtre pour ceux qui ne peuvent le voir.

Comme d'autre bâtiment de culture tel que le nouvel Opéra de Bordeaux, le Grand T choisi de financer l'élaboration d'une maquette tactile. Mon mémoire s'appuyant sur la perception des espaces par les non-voyants, cette demande représentait un excellent moyen de passer de la théorie classique d'un travail de mémoire à un exercice pratique très enrichissant.

## //3. Cahier des charges

Nous avons vu dans la partie précédente, que la forme d'une maquette tactile est fonction d'abord et trivialement du lieu à représenter mais également du message que la maquette doit porter. Il est donc nécessaire de porter une grande attention à l'établissement d'un cahier des charges précis définissant la forme finale de l'objet de médiation à concevoir.

Au travers de réunions d'avancements, dont les comptes rendus sont annexés à ce mémoire, nous avons pu définir un cahier des charges précis du travail de maquette tactile à entreprendre. Ce cahier des charges étant fonction des contraintes techniques et budgétaires, des volontés de la médiation culturelle imaginée pour le public non-voyant ainsi que l'ensemble de la contribution théorique apportée par ce travail de mémoire.

L'évolution et les détails de l'élaboration de ce cahier des charges est présent dans l'annexe de ce mémoire. Toutefois il paraît important de rappeler les éléments clés de ce dernier dans le corps de cet écrit.

#### //4. La maquette tactile choisie

Comme vu précédemment, le travail théorique que représente le mémoire insiste sur l'ambivalence du terme accessibilité d'un lieu de culture pour un public aveugle. L'outil de médiation choisi doit donc être support d'aide à la mobilité tout en transmettant les principales informations culturelles du lieu à représenter.

Puis, la localisation de la future maquette a été un facteur déterminant dans sa création. En effet, la maquette devient un outil efficace à condition que l'espace qu'elle représente soit présent physiquement devant l'utilisateur, réduit et orienté de la même manière. Ce critère a donc été déterminant pour le choix des espaces à représenter. C'est pourquoi le premier projet imaginé, constitué de 3 maquettes tactiles, à des échelles et informations différentes a été abandonné pour une seule maquette représentative du bâtiment principal, lieu le plus fréquenté par le public et lieu de lecture de la maquette.



fig. 35 : Panorama de la librairie, futur lieu d'accueil de la maquette tactile

L'échelle de la maquette a été choisie en prenant en compte le critère de lisibilité tactile. En effet, celle-ci ne doit ni être trop petite pour pouvoir comporter des détails importants à la compréhension du lieu (phénomène d'ombre tactile), ni être trop grande pour faciliter la lecture tactile de l'ensemble. Pour toutes ces raisons, le choix de l'échelle 1/100e est apparu comme le plus optimal.

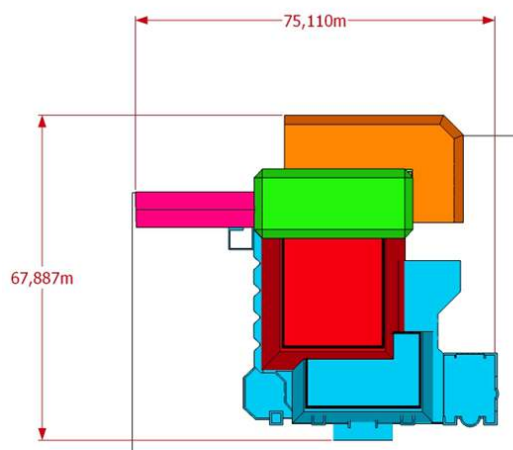


fig. 36 : Principales dimensions de la future maquette

La maquette choisie, dont une représentation est disponible ci-dessous, est donc à la croisée d'un plan tactile, facilitant la mobilité du public déficient, et d'une coupe longitudinale permettant de faire les liens topologiques nécessaires entre les espaces, apprécier la volumétrie extérieure et intérieure ainsi que les détails caractéristiques du bâtiment. Le choix des espaces à représenter, ou non, est issu d'une réflexion de simplification de la maquette. Ne sont ainsi montrés que les espaces jugés utiles au public aveugle dans la découverte du lieu. Une signalétique en braille et bas-relief est imaginée directement incrustée sur la maquette pour faciliter sa compréhension.

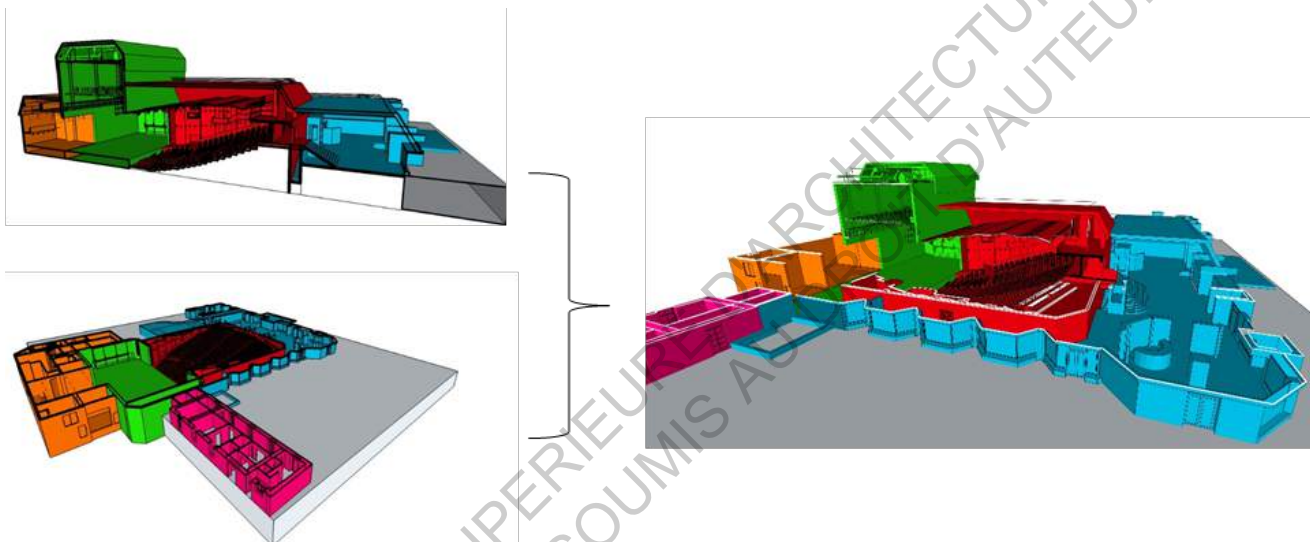


fig. 37 : Schéma d'intention de la future maquette, à la croisée entre plan et coupe tactile

Enfin, dans une logique de « design for all », la maquette a été imaginée en couleur. Chaque couleur correspond à un volume spécifique composant l'intégralité de la maquette (hall d'entrée, salle, arrière scène ...). Ce choix de colorisation permet d'améliorer les vertus pédagogiques de la maquette ainsi que de rendre l'outil exploitable pour un public malvoyant. Les couleurs finales choisies seront fonction de l'imprimante 3d utilisée et de la charte graphique du Grand T.

Des textures en relief pourront être présentes sur la maquette pour en dégager les éléments importants (présence de la brique, volumétrie ...).

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

## #2// méthodologie

Travailler sur le sujet d'une maquette tactile m'a amené à prendre en main l'outil d'avenir que représente l'imprimante 3d.

Dans cette partie nous verrons quelle méthodologie a été envisagée pour la conception de la maquette tactile du Grand T.

De la maquette numérique réalisée sur Sketchup à la maquette finale qui sera normalement livrée en Octobre 2015, de nombreux paramètres matériels et informationnels ont dû être pris en compte.

## //1. Processus général de l'intervention

Le stage proposé et donc la conception de la maquette tactile, imprimée à l'aide d'une imprimante 3d de l'école, arrivera à son terme en Octobre 2015. C'est pourquoi, lors de la rédaction de ce mémoire, la conception de la maquette tactile n'est pas encore achevée. Toutefois, le phasage de cette conception est disponible ci dessous. Ce graphique permet de comprendre l'enchaînement des grandes étapes nécessaires pour mener à bien ce projet.

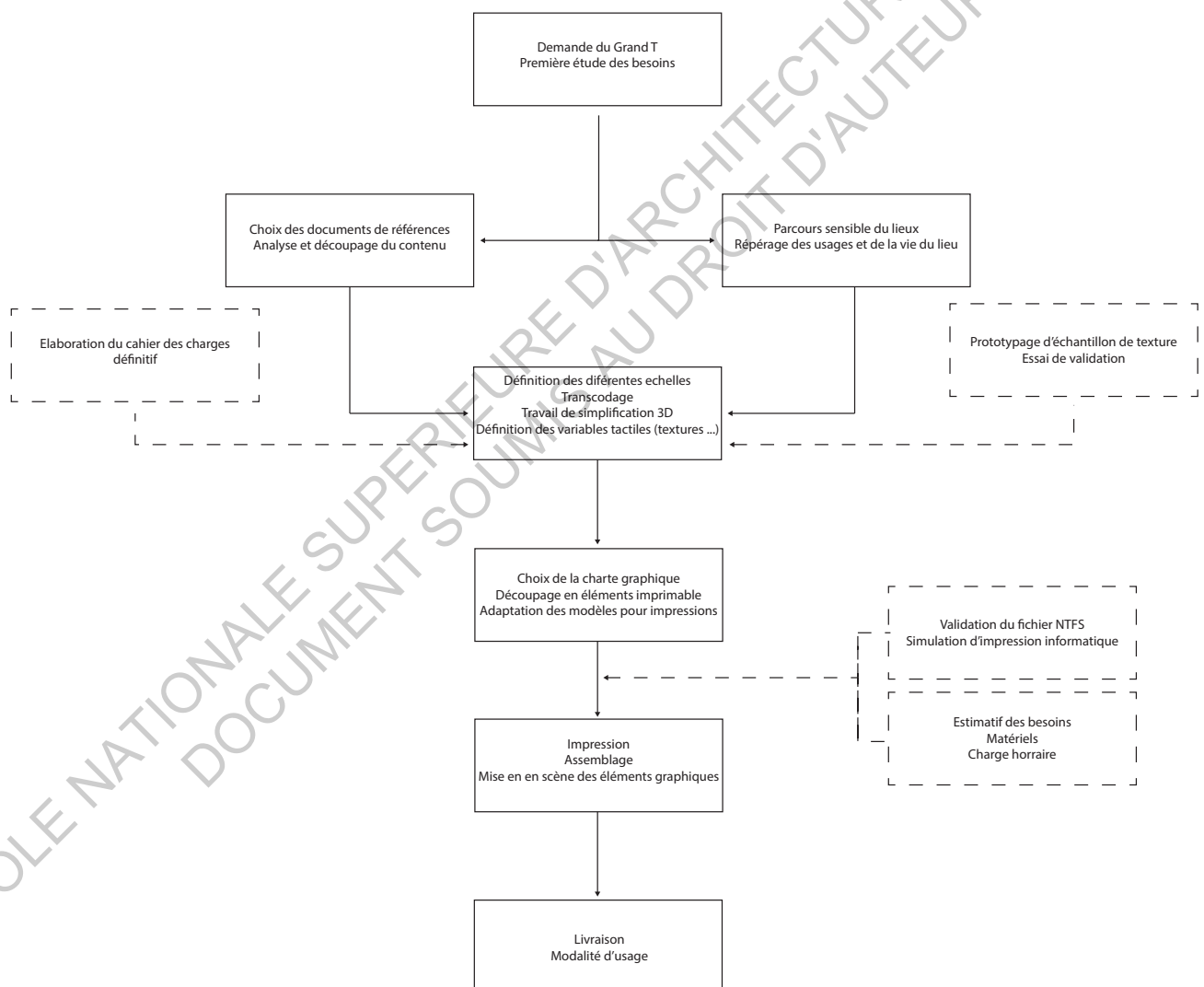


fig. 38 : Phasage général de l'intervention

## //2. Modélisation numérique

### //2.1 Un modèle en constante évolution

Première étape dans la conception de la maquette tactile, la modélisation 3d est une étape déterminante pour une impression 3d de qualité. L'étape de modélisation numérique est présente tout le long d'un projet de maquette tactile et est en constante évolution. En effet, comme le montre le schéma ci dessous, la modélisation de la maquette numérique doit tenir compte de l'état d'avancement du cahier des charges fixant les objectifs essentiels de la maquette, des contraintes matérielles telles que la nature de l'imprimante 3d, sa précision et les matériaux utilisés. Enfin, pour la validation de cette dernière, une série de test devient obligatoire.

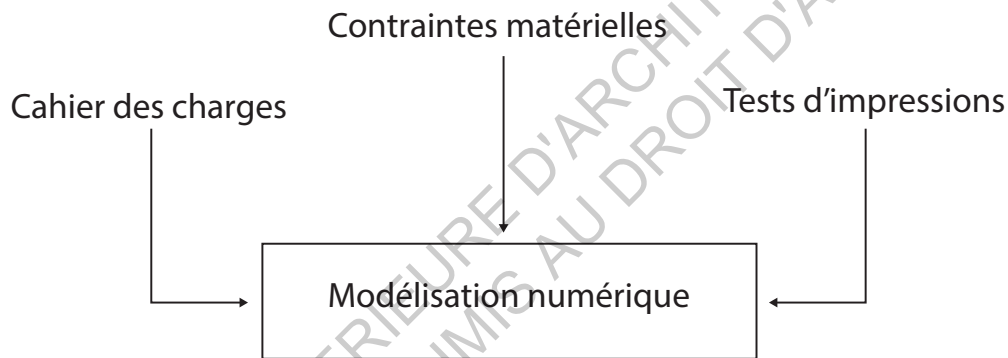


fig. 39 : Dépendance de la modélisation numérique

Il apparaît donc très important de réaliser plusieurs modèles différents et indicés permettant de retracer l'ensemble des étapes du processus de conception numérique. A ce jour, 15 fichiers numériques différents ontb ainsi été créés.

### //2.2 Principe de modélisation

Voici les différentes étapes importantes réalisés pour la création du modèle numérique final.

#### a. Connaissance générale des lieux

Avant de commencer la modélisation à proprement parler, une première étape visant à connaître le mieux possible l'espace à modéliser à nécessaire. Il est en effet bien compliqué de commencer une modélisation sur la seule base des plans et autres documents techniques. Une bonne connaissance des lieux obtenus par des visites et un reportage photographique permet d'obtenir une première division de l'ensemble des tâches ultérieure à réaliser et donc gagner en efficacité sur la transcription en 3d des plans d'executions.



Une première analyse architecturale et spatiale du bâtiment à modéliser a donc été réalisée afin de dégager les caractéristiques essentielles que la maquette numérique doit suggérer. Cette première simplification du modèle permet de réaliser une maquette numérique complète sans éléments superflus en mettant en évidence les principales caractéristiques du bâtiment tels que :

#### # La présence de différents volumes

Le bâtiment principal du Grand T peut être scindé en 5 volumes distincts à savoir le hall d'entrée, la salle, la cage de scène, l'arrière scène et enfin l'administration. La modélisation pourra donc se faire de manière indépendante sur ces volumes.

#### # Le principe constructif

Afin d'optimiser le temps de modélisation, il est nécessaire de dégager les informations essentielles du principe constructif du bâtiment. La façade caractéristique du bâtiment peut alors être vue comme un arrangement de volume simple en brique auquel se greffe des menuiseries pour cloisonner l'espace. Les différents volumes nommés plus haut sont rendus indépendants par la mise en place de murs porteurs accentuant encore plus l'idée d'imbrication de différents modules.

#### # Relation topologique

Il est souvent bien difficile de connaître les relations de différents espaces sur la seule base de plans. Il est donc nécessaire de parcourir, autant de fois que possible, les lieux à modéliser pour comprendre le mieux possible comment sont desservis les différents espaces. De nombreux aller-retours entre plans et visite in situ ont permis d'avoir une bonne connaissance du lieu et donc de gagner du temps dans un travail de modélisation.

#### b. Première étape de modélisation

Après cette première prise de connaissance avec le bâtiment, la modélisation à proprement parlé pouvait commencer. Le cahier des charges n'étant pas encore fixé lors de ce premier travail, il était nécessaire de réaliser une modélisation la plus juste possible, en envisageant une éventuelle simplification ultérieure. Il est en effet beaucoup plus aisé de simplifier une maquette numérique que de la complexifier en y rajoutant les éventuels éléments oubliés ou jugés inutile lors d'une première ébauche.

Le bâtiment étant constitué d'éléments à géométrie simple, il a été choisi de travailler avec le logiciel Sketchup. De plus, l'immense quantité de plugin développés pour ce logiciel permet

de faire face à tout les problèmes rencontrés durant la modélisation et de gagner du temps.

### c. Simplification du modèle

Cette étape permet de sélectionner les éléments nécessaires et suffisants pour la représentation du bâtiment. Nous l'avons vu dans la partie précédente, une maquette comportant un niveau de détail trop important ne permet pas une bonne compréhension par le public aveugle qui se retrouve face à une abondante quantité d'information qu'il ne pourra pas interpréter. A l'inverse, une maquette trop simpliste ne permet pas une bonne connaissance des lieux.

Cette simplification est largement fonction du cahier des charges fixant le message principal que la maquette tactile doit véhiculer ainsi que l'échelle de la maquette. De plus, la précision de l'imprimante utilisée permet une dernière simplification. Par exemple, des éléments trop fins sur le modèle numérique (baies, bavettes alu ...) ne seront pas imprimés ou seront beaucoup trop fragiles rendant son utilisation plus compliquée.

### d. Découpage du modèle en éléments imprimables

Le plateau de l'impression 3d étant limité, il est nécessaire de découper le modèle numérique en plusieurs éléments imprimables, correspondant à la dimension du plateau. Dans notre cas, le plateau de l'imprimante étant d'une dimension de 20cm \* 20cm, il convient de découper le modèle numérique suivant ce module.

De plus, la maquette envisagée étant à la croisée entre une coupe horizontale jouant le rôle d'un plan tactile et une coupe longitudinale mettant en avant la volumétrie du bâtiment, il est nécessaire de réaliser ces coupes physiques sur le logiciel. Cette dernière étape est longue et requiert d'avoir travaillé sur sketchup avec des éléments solides. Il existe un plugin sketchup, SKALP, permettant de réaliser des coupes solides sur l'ensemble du modèle. Toutefois, ce logiciel étant payant et cher, il n'a pas été utilisé dans ce travail.

### //3 Export STL

Les fichiers à imprimer issus de la maquette numérique sont à exporter en format STL. (stéréolithographie). Sur sketchup, cet export nécessite l'ajout d'un plugin permettant la transformation des fichiers de .SKP à .STL.

Le plugin sketchup STL. développé par Google permet facilement cette transformation. D'autres plugins permettent également cette fonction et sont directement reliés à un site partenaire pour effectuer une commande d'impression 3d (assez chère) avec la technique

et le matériau de son choix. Pour notre étude, le pluguin utilisé est amplement suffisant.



**fig. 39 : Google a développé un pluguin permettant de convertir les fichier .skp en .stl**

Certaines règles sont cependant à respecter pour une bonne compatibilité des modèles numériques.

#1. Travailler uniquement avec des éléments solides.

Pour être imprimables, les objets 3d numériques doivent être des solides. Techniquement, cela signifie que les objets imprimables sont formés par un maillage continu. Ainsi, un maillage discontinu ne pourra pas être imprimé. Sur Sketchup, il est donc important de travailler par groupes d'objets solides.

Pour ce faire, il est nécessaire de travailler en permanence avec les outils «solids» de sketchup permettant de réaliser des opérations booléennes ne provoquant pas de rupture dans le maillage. Ainsi, une ouverture, une section d'objet doit toujours être envisagée à l'aide de ces opérations solides.



**fig. 40 : Les outils «solids» sont indispensables pour un travail d'impression 3d**

Cependant, il existe de nombreux cas où, par mauvaise manipulation, les objets ne sont pas solides et donc non imprimables. Le pluguin Solid Inspectors<sup>2</sup> développé par Thomas Thomassen et faisant partie de la collection Cookiecutter permet d'inspecter les objets pour contrôler si ces derniers sont solides.



**fig. 41 : Solid Inspector², un pluguin qui assure la création de maillages fermés**

Ce pluguin est très intéressant car il permet également de corriger les erreurs de modélisation et rendre un objet solide. Certaines opérations sont automatiques comme l'orientation des faces internes de l'objet ou la suppression d'arrêtes inutiles. D'autres sont juste signalées par l'interface du pluguin telles que le manque d'une face ou arrête permettant la création d'un maillage continu et doivent faire appel à une correction manuelle.

Voici comment le plugin se présente au travers d'un exemple simple.

Créons un cube sur sketchup (1.) . Groupons le puis supprimons volontairement une face de celui-ci (2.). Dès cette étape, l'objet n'est pas solide et ne peut donc être imprimé. Enfin, créons une arête ne participant pas au contour extérieur de l'objet (3.).

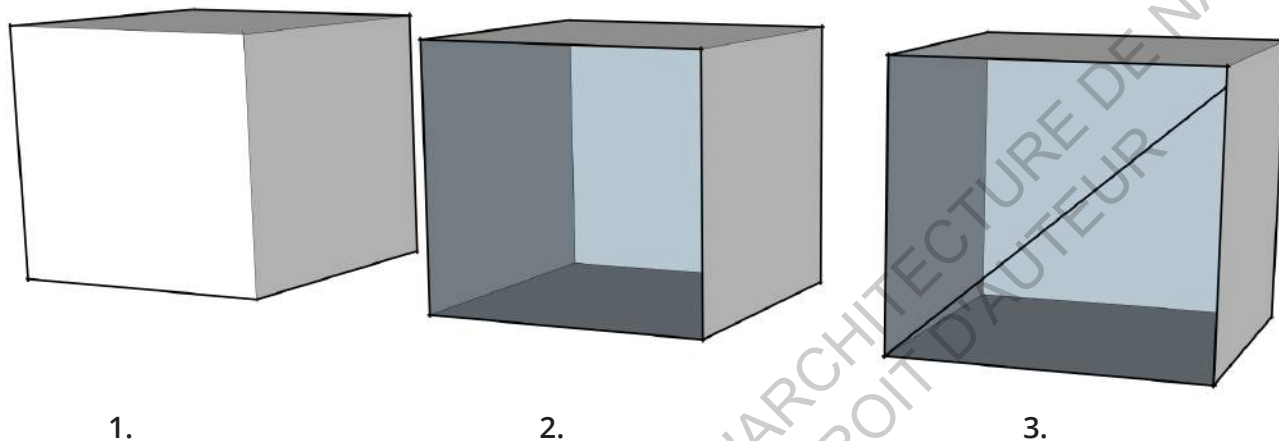


fig. 42 : Explication du plugin

Voici alors les informations fournies par l'interface du plugin Solid Inspectors<sup>2</sup> :

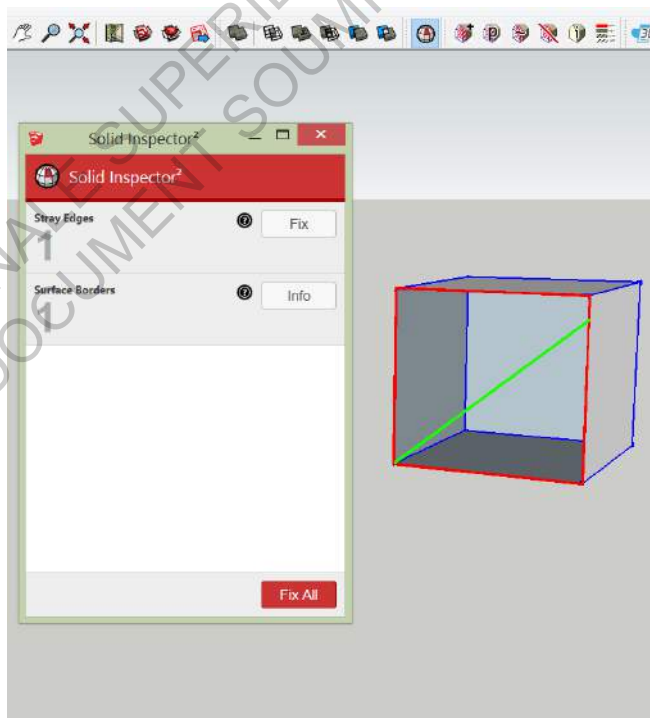


fig. 43 : Interface de Solid Inspector<sup>2</sup>

Premièrement, le logiciel nous informe logiquement qu'une arête doit être supprimée (en vert sur l'image ci dessus). Le plugin propose de réparer automatiquement cette erreur. Puis il nous est informé qu'il existe un problème sur le contour d'une surface, la surface

supprimée au préalable (en rouge ci dessus). Cette erreur ne peut que être réparée manuellement en créant une surface refermant le maillage.

Une fois l'ensemble de ces opérations terminées, le plugin nous informe que l'objet est bien solide et donc exportable au format STL. pour l'impression.

## #2. Contrôle des unités

Comme dans tout les logiciels de CAO, il est important de faire attention aux unités. Il est préférable de travailler millimètre pour un export STL. exploitable directement par l'imprimante.

## //3. Le logiciel Z suite

L'imprimante 3d choisies pour le test est une Zortrax M200. Cette dernière utilise le principe F.D.M. ( Fused Deposition Modeling). Autrement dit, le principe d'impression utilise une buse qui dépose selon des coordonnées précises de la matière plastique en fusion sur un plateau, chauffé lui aussi, qui descend au fur et mesure de l'avancée de l'impression. L'objet prend alors forme par couches successives.

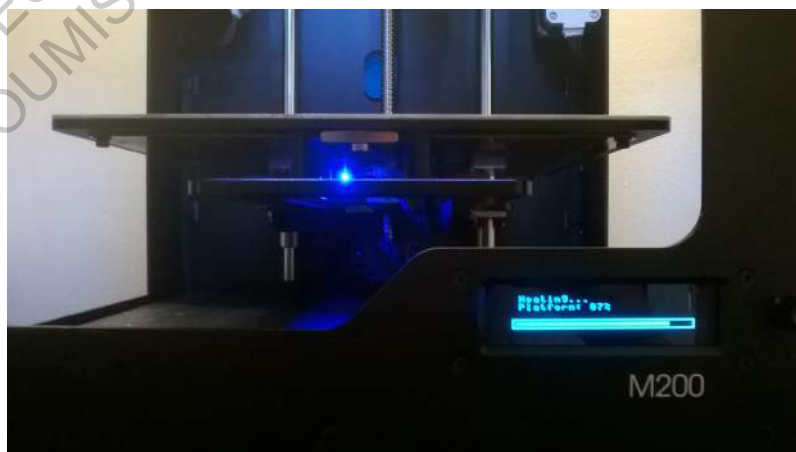


fig. 44 : Photographies de l'imprimante utilisée

Le logiciel Z suite associé à l'imprimante M200 créer l'interaction nécessaire entre le modèle numérique et l'imprimante. Il permet de régler les paramètres d'impression, de changer l'échelle de l'objet et d'obtenir des informations utiles concernant l'impression à réaliser (quantité de matière utilisée, temps d'impression, coût d'impression ...).

Le logiciel se présente comme une représentation du plateau de l'imprimante au dimensions 20cm\*20cm. Une fois importé en millimètre, l'objet numérique est visible sur le plateau. Si celui ci est bleu, les dimensions voulues sont compatibles avec la taille du plateau

d'impression. Si celui ci est rouge, l'objet est alors trop grand par rapport au plateau et il ne peut donc être imprimé. Une fois une première vérification faite sur le modèle à imprimer, le fichier STL doit être converti avec un format lisible par la machine. En cliquant sur «lancer l'impression», il est possible de régler les différents paramètres que propose l'imprimante tels que la précision de la buse, la distance entre deux dépôts voisins... Ces paramètres étant réglés et validés, une simulation d'impression, plus ou moins longue en fonction du modèle, est générée par le logiciel. Une image, parfois très différentes de l'objet modélisé est donc visible sur le plateau.

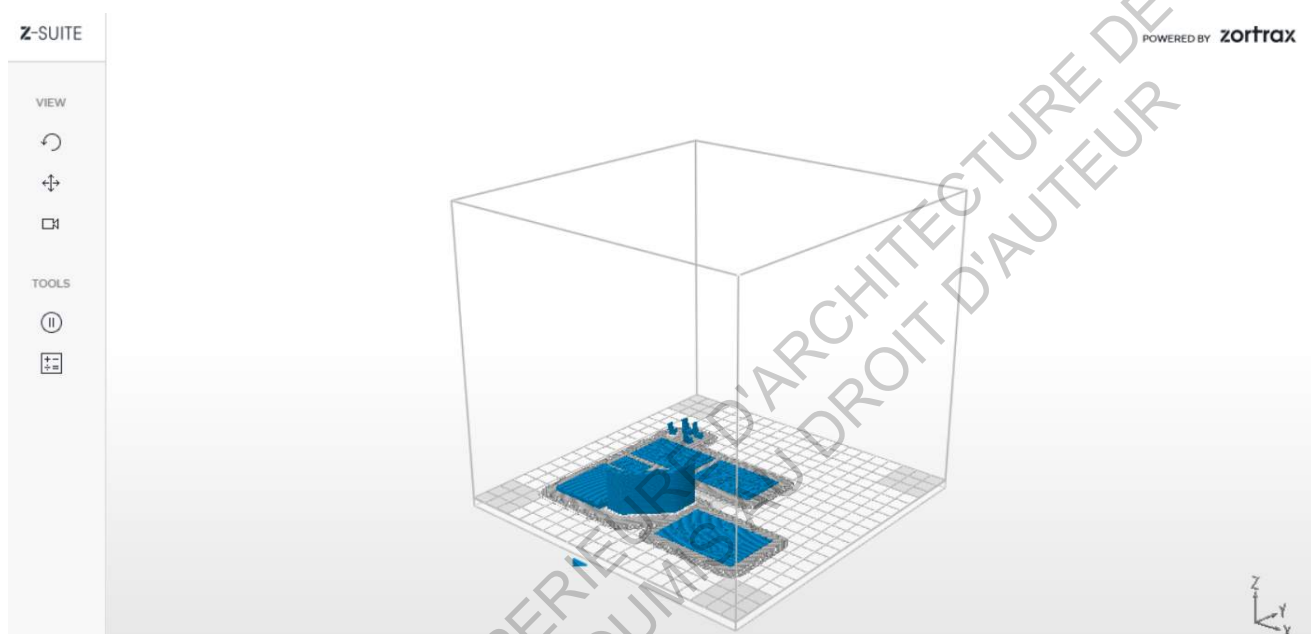


fig. 45 : Interface du logiciel Z suite

L'objet est représenté tel qu'il sera en sortie d'impression. Lorsque le modèle présente des trous, le logiciel les bouche automatique avec une matière plastique moins dense qu'il sera possible d'enlever (plus ou moins facilement) une fois l'objet fini.

Une fois le fichier validé, il doit être enregistré sur une carte SD afin d'être lisible par l'imprimante puis imprimé.

## //2.3. Impression

L'imprimante utilisée est une Zorax M200 bénéficiant d'un plateau de 20cm par 20cm. Les plastique (ABS) utilisés par cette imprimante sont spécifiques au modèle et sont disponibles en plusieurs coloris et solidités. Pour imprimer, le fichier produit par le logiciel Z suite doit être rentré dans la machine par l'intermédiaire d'une carte SD. Une fois le projet lancé, l'imprimante lance une phase de chauffage. D'abord, le plateau est chauffé pour limiter l'adhérence de l'objet imprimé. Puis la buse se chauffe afin de faire fondre instantanément le plastique et permettre le dépôt de matière pour l'impression. Puis, l'impression se lance. Une première

couche «support» est d'abord imprimée. Celle ci permettra à l'objet d'être décollé du plateau plus aisément. Suite à cela, l'objet s'imprime par couches successives, le plateau descendant d'un cran après chaque phase.

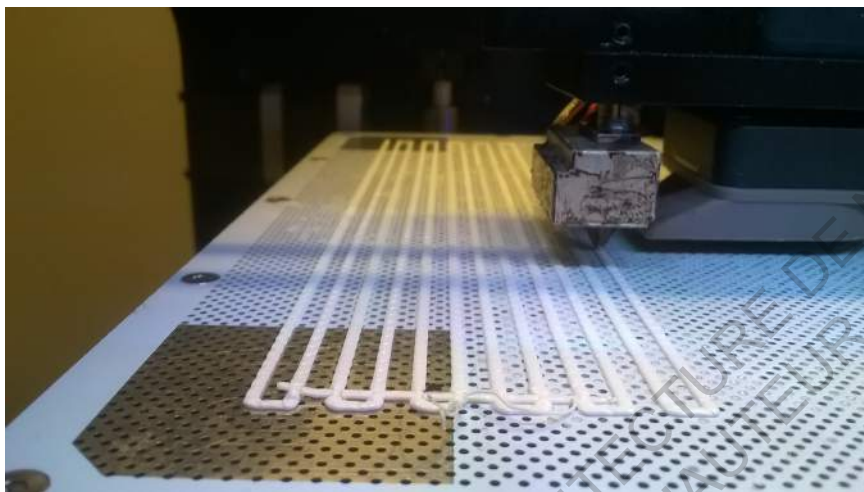


fig. 46 : Phase de dépôt du plastique «support» sur le plateau

A la suite d'un temps plus ou moins long, l'objet est imprimé. Dans un premier temps il faut veiller à l'extraire le plus minicieusement possible du plateau. Un éventuel travail de finition est à prévoir au cas ou l'objet nécessite un remplissage de trou par nid d'abeille. Celui ci peut être enlevé à l'aide d'une spatule ou scalpel. Cette étape est délicate car il faut veiller à ne pas abimer l'objet.



fig. 47 : L'impression 3d demande un travail de finition non négligeable

## #3// tests d'impression

Certains tests d'impression ont déjà été réalisés durant la période de juillet.

En plus d'une première prise en main de l'impression 3d, ces tests permettent de valider ou non la conception des éléments modélisés sur sketchup.

Ce premier retour sur expérience servira de base pour la création d'une maquette numérique finale.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



## //1. Objectifs

Durant le moi de juillet, j'ai eu la chance de pouvoir lancer une série de différents tests d'impressions 3d. Les objectifs fixés pour cette première phase de test sont les suivants :

# Mettre en évidence le rendu d'impression du modèle

- Impression des éléments basiques (mur,baies ...)
- Impression d'éléments complexes (escalier)
- Première prise en main de la machine et du logiciel associé

# Définir une méthode d'assemblage des éléments imprimés

- Test de différents moyens d'assemblage
- Définition du jeu d'assemblage nécessaire

# Estimer la faisabilité de l'impression du braille

- Création d'un alphabet en braille sur sketchup
- Rendu d'impression
- Critère de lisibilité

# Impression de symboles tactiles en bas relief

## //1. Impression d'un échantillon de maquette

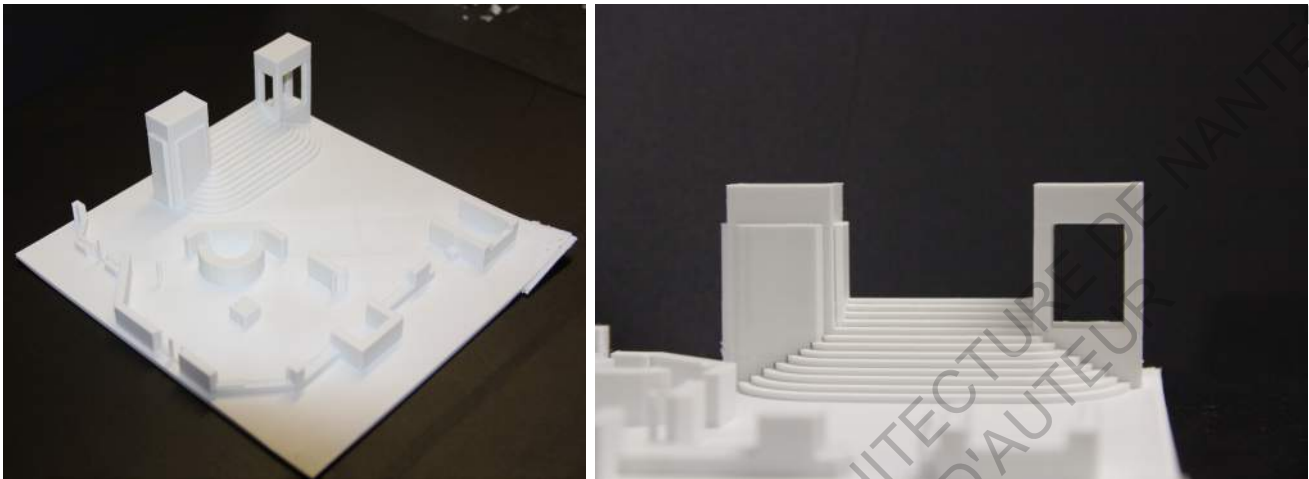
### //1.1 Descriptif du test

Ce premier test permet une première prise en main de la machine et du logiciel Z suite associé. Il permet de mettre en évidence l'importance d'une simplification du modèle. En effet, tout ne peut être imprimé. Des éléments trop fin sont difficilement imprimable.

Une échantillon de la maquette, correspondant aux dimensions du plateau d'impression (20cm \* 20cm), a d'abord été créé. Cette première impression se compose d'une coupe de la bibliothèque ainsi qu'un élément emblématique du lieu, l'escalier d'entrée. Pour se faire, différents procédés de modélisation des baies ont été envisagés pour savoir si ces dernières sont imprimables.

## //1.2. Résultats commentés

Après 18h d'attente, voici ci dessous le résultat de cette première impression.

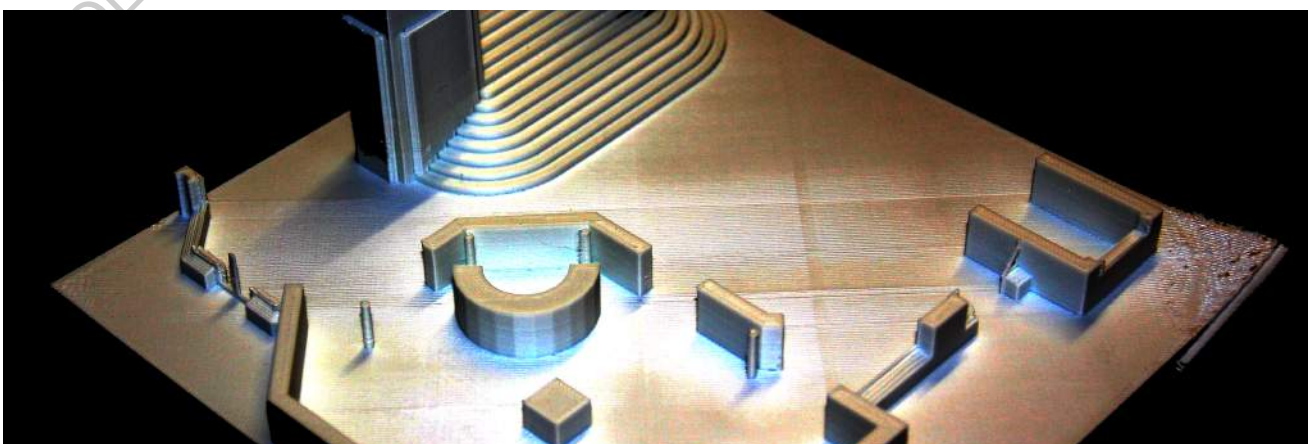


**fig. 48 : Résultat de la première impression**

Avec une grande surprise, l'impression de l'escalier ainsi que les deux tourelles bordant ce dernier sont d'une excellente qualité. De la même manière, les murs coupés sont droits, nets et suffisamment robuste pour ne pas subir de dégradation par une exploration tactile.

En revanche, les menuiserie et baies, représentés volontairement finement dans le modèle numérique ne se sont pas imprimés ou sont d'une grande fragilité. Ce premier feed back permet une première modification du modèle sketchup. Les ouvertures seront donc représentées par des vides.

De plus, l'impression permet d'apprécier la matérialité de la matière plastique utilisée pour l'impression. Même en utilisant la plus grande précision de la buse d'impression, des strilles en relief apparaissent après impression. Il sera important de veiller à ce que ces dernières ne représentent pas une gêne pour une lecture tactile de qualité.



**fig. 49 : Mise en évidence de la texture strillée de la maquette**

Enfin, un problème non attendu est survenu lors de l'impression. Le modèle envisagé remplissait volontairement l'intégralité du plateau d'impression. Il est important de signaler ici un défaut d'impression au coin du modèle imprimé. En parlant avec Mr Miguet, celui ci m'explique que le plateau a une facheuse tendance à surchauffé au niveau des ces coins, le revêtement de celui ci étant différent à ces endroits.



**fig. 50 : Les coins du plateau représentent des zones d'impressions problématique**

Les conséquences sur l'échantillon imprimé sont désastreuses. En effet, le sol de l'espace imprimé gondole au niveau des coins et ne permet pas d'envisager avec sérénité un futur assemblage des nombreux éléments indépendants composant l'intégralité de la maquette.



**fig. 51 : Mise en évidence du défaut d'impression**

Ce gros défaut d'impression amène donc à repenser la conception de la maquette tactile. Soit en découpant le modèle en échantillon plus petit, afin de ne pas imprimer d'éléments au niveau des coins du plateau. Soit en envisageant un socle indépendant, réalisant le sol de la maquette, sur lequel les éléments verticaux seront assemblés. Cette dernière solution est plus qualitative mais nécessite l'utilisation d'une imprimante plus grande et permettrait d'annuler de manière significative les joints d'assemblage entre les sols des différents modules. Dans ce dernier cas ou le sol de la maquette est indépendant des éléments en élévation, des essais sur les moyens d'assemblage apparaissent indispensables.

## //2. Moyens d'assemblages

### //2.1 Descriptif du test

Durant ce test, il a été imaginé et mis à l'épreuve 2 types d'assemblages différents. Ces derniers seront utiles pour la mise en place d'éléments en élévation sur un socle indépendant ainsi que pour les jonctions nécessaires entre le plan tactile et la coupe longitudinale, le modèle étant imaginé démontable à ces endroits.

Les deux types d'assemblages imaginés sont les suivants :

- # 1. Assemblage par fiche cylindrique de type Lego.
- # 2. Assemblage par fiche linéaire et continue.

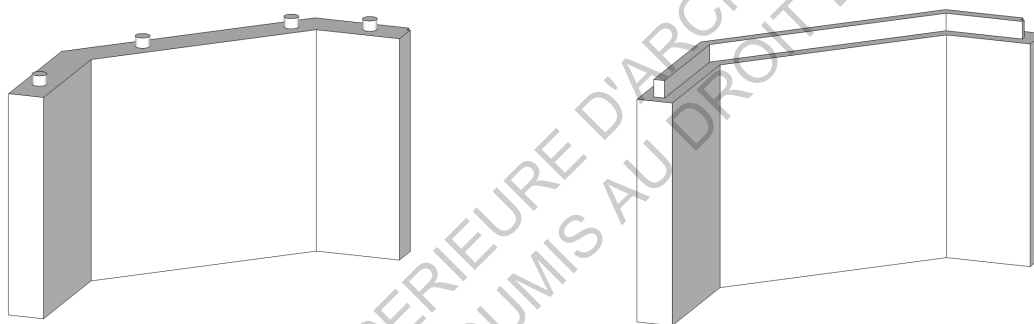


fig. 52 : Représentation des deux types d'assemblage envisagés

L'objectif du test est d'estimer l'efficacité de ces deux moyens d'assemblages ainsi que de déterminer le jeu d'assemblage nécessaire pour une solidité optimale de la maquette. Différents jeux d'assemblage ont ainsi été testés allant de 0.1 mm à 0.4 mm comme présent sur l'illustration ci dessous.

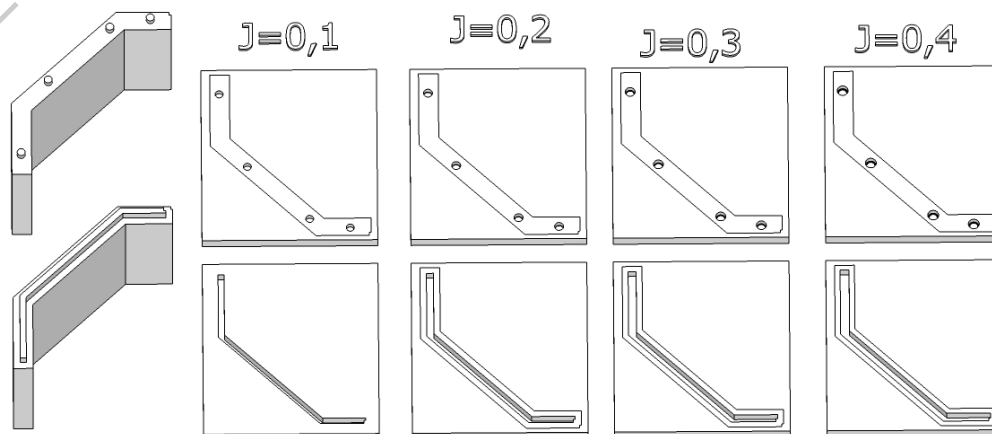


fig. 53 : Modèle créé pour la validation des assemblages

## //2.2 Résultats commentés

Les deux assemblages se sont imprimés sans problèmes majeurs, les fichiers sortis d'impression sont fidèles à la modélisation.

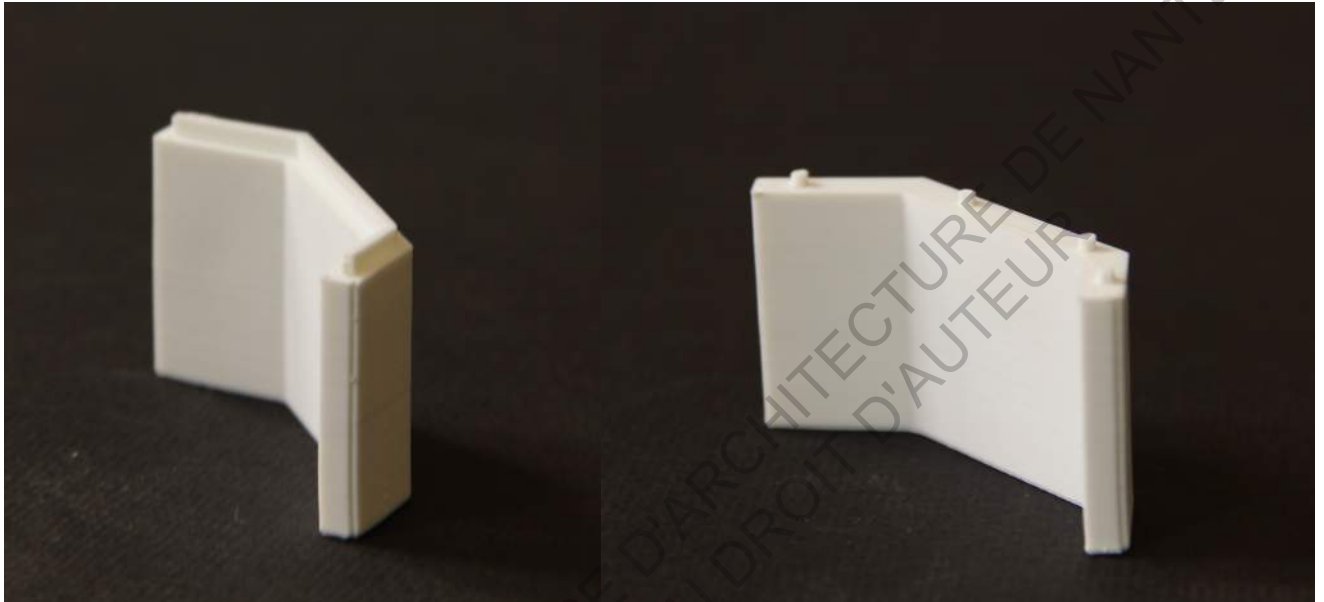
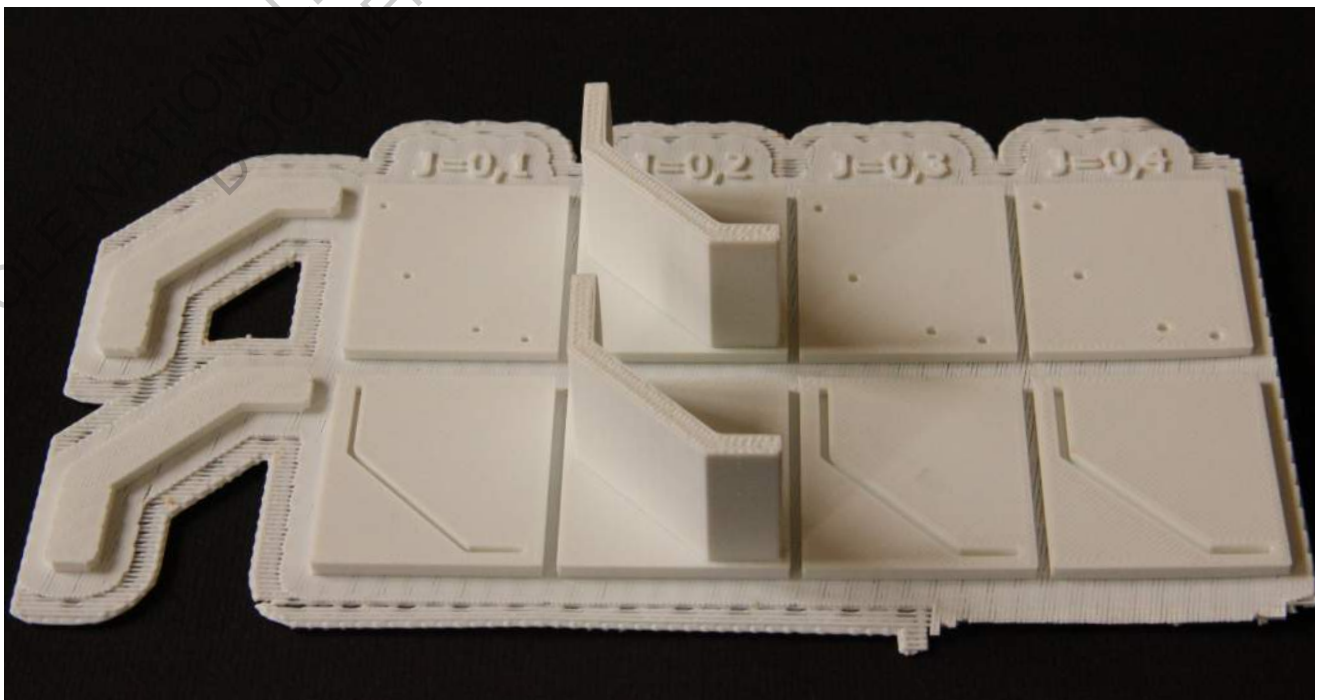


fig. 54 : Echantillons d'assemblage imprimés

Dans les deux cas, le jeu d'assemblage idéal est de 0.2 mm. On remarque néanmoins une plus grande solidité de l'assemblage dans le cas d'une fiche continue et linéaire. En effet, même avec une forte pression horizontale sur l'élément encastré, celui ci ne bascule pas contrairement à l'assemblage à fiche cylindrique.



### //3. Impression du braille

#### //3.1. Descriptif du test

Lors de la dernière réunion visant à définir un cahier des charges définitif, il a été émis l'idée que des inscriptions en braille pourraient être directement incrustées sur la maquette. Deux choix sont alors possibles. Premièrement, incruster les informations nécessaires à la compréhension, en braille, directement sur le modèle 3d. Deuxièmement, faire appel à un prestataire extérieur capable d'imprimer une légende en braille qu'il sera possible de rajouter directement sur la maquette tactile imprimée.

Le premier cas oblige d'effectuer des tests de modélisations puis impressions de légendes en braille. L'objet de ce test est donc de vérifier la lisibilité de celui-ci et de trouver une méthode de modélisation adaptée.

Pour ce test, nous nous sommes basés sur le petit logiciel que propose l'entreprise Lumi Industries permettant de créer des fichiers STL d'une police en braille, normée et lisible par un public non voyant. En convertissant un de ces fichiers STL en modèle Sketchup, il a été possible de modéliser un alphabet prêt à être imprimé.

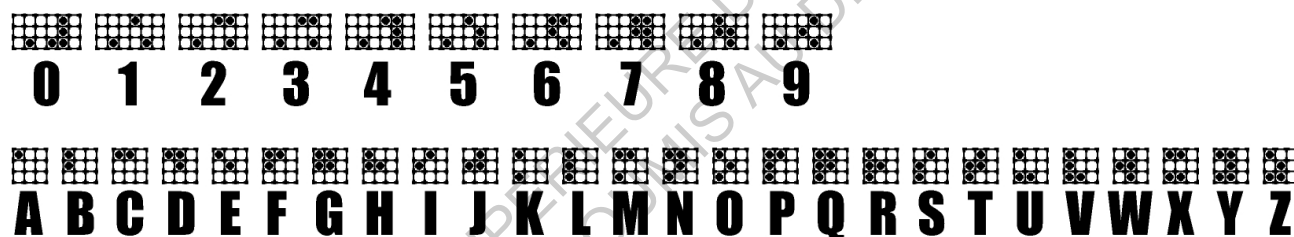


fig. 56 : Modélisation d'un alphabet en braille

Dans un premier temps les points en reliefs nécessaires pour la création de la police 3d ont été réalisés à partir de demie sphères triangulées, de la même manière proposée par le logiciel de Lumi Industries. Plusieurs cas ont ainsi été testés. D'abord avec une demie sphère pleine, puis coupée au quart et enfin coupée en son centre. Les images ci dessous montrent les différentes modélisations envisagées.

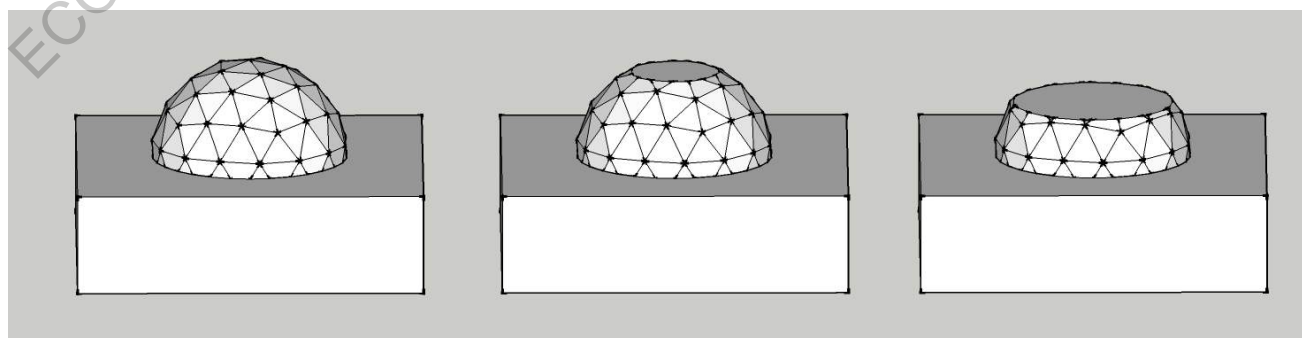


fig. 57 : Les différentes conceptions des «touches» de braille

Puis des échantillons tests ont été réalisés pour l'ensemble de ces modèles de points. Ces derniers se présentent de la manière suivante :



fig. 58 : Modèle pour validation de l'impression

### //3.2. Résultats commentés

Dans les 3 cas, les formes en reliefs permettant la lecture en braille ne sont pas nettes. En effet, elles accrochent au doigts et comportent quelques défauts pouvant perturber la lecture et ce même en utilisant la précision maximale de la buse d'impression.

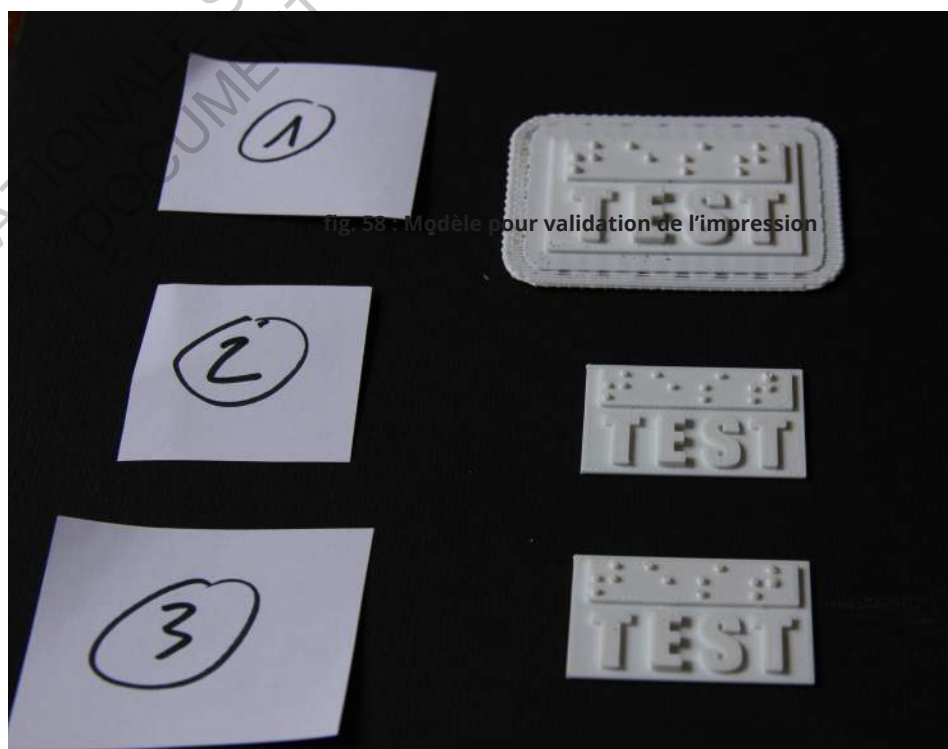
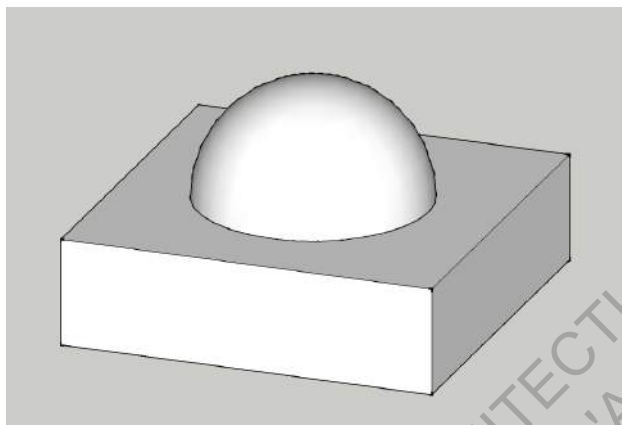


fig. 59 : Impression de plaquettes en braille

Un autre test a donc été réalisé avec une nouvelle modélisation du point en relief, cette fois ci avec une demi sphère non triangulée que propose le logiciel sketcup telle que le montre l'image ci dessous.



**fig. 60 : Modélisation des touches par une demi sphère standard**

Nous retrouvons les mêmes problèmes que précédemment cités à savoir une lecture peu agréable ainsi qu'une plus grande présence de défauts. Plus l'échelle de l'impression est petite et plus la quantité de défauts augmentent rendant le braille complètement illisible.



Il n'a pas été trouvé à ce jour de solution pour imprimer un écriture en braille convenable avec l'imprimante utilisée. La solution d'appel à un prestataire extérieur est donc à envisager car plus qualitative.



#### //4. Symbole bas relief

##### //4.1. Descriptif du test

Le test précédent nous invite à sous traiter la création de légende en braille. Pour autant, des symboles tactiles pourraient être présents directement sur la maquette permettant d'expliquer par le dessin en relief les différents espaces composant le bâtiment.

Ainsi, il sera nécessaire de choisir les représentations en relief, connues de tous, permettant une meilleure compréhension de la maquette. Comme premier test de bas relief, nous avons choisi d'imprimer un ceintre, symbolisant l'espace de vestiaire.

La modélisation du bas relief a été effectuée via sketchup. Un pictogramme de ceintre a donc été créé puis transformé en fichier autocad afin que celui ci soit exploitable dans sketchup.

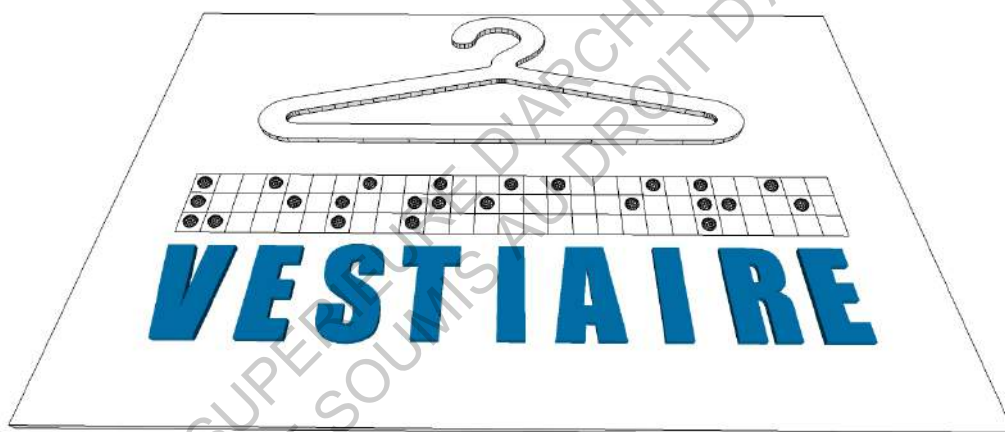


fig. 62 : Modélisation utilisée pour tester la faisabilité du bas relief

##### //4.2. Résultats commentés

Le symbole haptique s'est bien imprimé et sans problèmes majeur. Il est donc possible de l'incruster directement sur la maquette tactile finale. La difficulté des symboles résidera dans la recherche de dessin en relief compréhensible par tous.



fig. 63 : Résultat d'impression du bas relief

# CONCLUSION

Dans un époque d'hyper visualisation, le rôle de nouveaux outils de médiation adressés à un public qui ne voit pas devient majeur. Nous avons vu au travers de ce mémoire la difficulté de transcription d'un message visuel en un outil tactile, haptiquement perceptible. Cette difficulté réside principalement dans le caractère bivalent de la notion d'accessibilité pour un public déficient. Celle ci ne peut en effet se résoudre uniquement à la mise aux normes des bâtiments publics, garantissant une accessibilité à la mobilité indépendante. En effet, pour promettre un épanouissement personnel au public aveugle, de nombreux efforts doivent être mis en place pour transcrire une partie des éléments culturels principalement accessible d'un simple coup d'oeil. Et l'hétérogénéité de ce public ne rend pas la tâche aisée.

Ainsi, l'architecture fait parti de ces objets culturels qu'il est difficile d'apprécier pour un public aveugle. Cependant, l'outil de médiation que représente une maquette tactile permet de rendre haptiquement perceptible des informations visuelles. En plus d'être un outil de guidage performant, celle ci permet d'apprécier des informations inconnues par le public aveugle tels que la forme générale d'un espace construit, les relations topologiques, les détails constructifs ... Sa création nécessite un travail de synthèse important. Elle ne peut être considérée comme une simple réduction d'un bâtiment et doit donc porter un message précis.

Le travail pratique entrepris avec le Grand T m'a permis de réaliser, sur la base des recherches théoriques que le travail de mémoire a apporté, de réaliser cette synthèse et jouer le rôle de transcripateur en vue de l'accomplissement d'un projet complet. Ce projet m'a également permis de me familiariser avec le domaine révolutionnaire de l'impression 3d. En effet, l'impression 3d permet de réaliser des maquettes tactiles de qualité, robustes et réimprimables à l'infini. De nombreux projet d'accessibilité culturelle utilise d'ailleurs ce même procédé et participe activement à l'amélioration des conditions de vie de la population de déficient visuel. La principale difficulté de cet exercice réside alors dans la construction d'un modèle numérique, imprimable et correspondant aux objectifs fixés par un cahier des charges, seul garant de la qualité du message que doit fournir la maquette.

La livraison de la maquette, pour le Grand T, est prévue pour Octobre 2015. A ce jour, de nombreux travaux ont été entrepris pour respecter cette date. La réalisation des tests d'impression ont mis en évidence des difficultés auxquelles il sera nécessaire de faire face pour la continuation du projet. Les résultats de ces tests permettent notamment de faire évoluer le modèle numérique en vue d'une impression de qualité.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

# REFERENCES

## BIBLIOGRAPHIE

Yvette HATWELL - Toucher l'espace - 1986

Yvette HATWELL / Arlette STRERI / Edouard GENTAZ - Toucher pour connaître - 2000

VOIR - Les aspects culturels de la vision et les autres modalités perceptives, le toucher - 2003

Marc CRUNELLE - Toucher, audition et odorat dans l'architecture - 2001

Gérard ZRIBI - Dictionnaire du handicap, 6e édition - 2004

Francis RAYNARD - Se mouvoir sans voir - 1999

Ministère de la Culture et de la communication - Culture et handicap, guide pratique de l'accessibilité - février 2007

Nicolas BALTENNECK - Se mouvoir sans voir - 2010

Alice PHILIPPON - La photographie tactile pour malvoyants et aveugles - 2007

La recherche - Edition spéciale cerveau - 2013

Jaume GUAL - Analysis of Volumetric Tactile Symbols Produced with 3D Printing - 2012

Gabriela CELANI - Tactile scale models : three-dimensional info-graphics for space orientation of the blind and visually impaired - 2005

Susan J. LEDERMAN / Roberta L. KLATZKY - Extracting Object Properties Through Haptic Exploration - 1993

Loïs MOREEN - Les non voyants - 2013

Muyun XIAO - Improving tactile navigation in public buildings for blind and visually impaired people - 2011

B. KENZARI - Crystallizing design intentions, using CNC, laser and rapid prototyping technologies - 2001

INPES - Informer les personnes aveugles ou malvoyantes -

Charles LENAY / François-David SEBBAH - La constitution de la perception spatiale, approches phénoménologique et expérimentale -

Fabien COULON - Le rôle de la modalité tactile dans le déplacement du piéton en ville - 2005

Rachel THOMAS - Cheminer l'espace en aveugle, corps stigmatisé, corps compétent - 1999

## **WEBOGRAPHIE**

Association Valentin Haüy - <http://www.avh.asso.fr>

Toucher pour connaître, pour apprendre - <http://webcom.upmf-grenoble.fr>

Association introspective - <http://www.introspective.fr>

Polymorphe Design - <http://www.polymorphe-design.fr>

Résonance du vivant - <http://bioresonance-sophie.over-blog.com>

## **FILMOGRAPHIE**

ARTE - Dans mes yeux

Amar LATIF - Sightseeing Blind directed

Pirate 3D - Touchable Memories

Matt Mets - Blind Self Portrait

David MACKENZIE - Perfect Senses

## **ENTRETIENS**

Chris DELEPIERRE - Entrepreneur du changement - tri D

Maryse PAPINEAU - Présidente de l'association Valentin Haüy de Nantes

Priscillia DESBARRES - Responsable communication de l'association accès culture

# ANNEXES

- #1. Etat de l'art
- #2. Réunion cahier des charges, Cr n°1
- #3. Réunion cahier des charges, Cr n°2

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR