

# Blind Climber - Etat de l'art

GARDEL Jean-Baptiste - RUBIN Clément - TOBITT Eric

11 novembre 2019

## Résumé

A compléter

## 1 Introduction

Dans le cadre de notre projet "BlindClimber" soutenu par Les Désordinateurs Communicants (LDC) et IMT Atlantique, nous nous sommes intéressés à la restitution d'informations visuelles à des personnes déficientes visuelles en particulier, afin de les aider à grimper en autonomie. L'association LDC aide en effet des personnes déficientes visuelles à pratiquer l'escalade sur la commune de Brest.

Le travail effectué par l'association permet à de nombreux aveugles et malvoyants de pratiquer un sport qui leur était avant impossible. Plus généralement, la pratique d'activités sportives reste compliquée pour cette partie de la population. De plus, les sports pratiqués par les personnes déficientes visuelles sont peu nombreux puisqu'une adaptation des règles est nécessaire. Ouvrir la pratique de l'escalade en autonomie à des personnes déficientes visuelles est donc un moyen de diversifier les pratiques sportives et d'ouvrir la voie à l'ouverture d'autres disciplines à ce public. La diversification des pratiques sportives est en outre particulièrement recherchée par les athlètes déficients visuels.

La nécessité de s'acculturer aux méthodes de restitutions d'informations visuelles ainsi qu'aux fondements théoriques de la suppléance perceptive est réelle. Comment mener un projet de restitution visuelle sans connaître les réussites et les échecs dans ce domaine ? Nous nous serions précipités dans le mur. En effet, étant tous voyants et ne côtoyant pas de personnes déficientes visuelles dans notre quotidien, nous manquions cruellement de connaissances sur ce sujet. Ce travail nous a donc permis de saisir les tenants et les aboutissants de la suppléance perceptive, les causes de la cécité mais aussi les moyens déjà mis en œuvre pour faciliter la pratique du sport par un public déficient visuel.

La rédaction de ce document n'a pas été aisée du début à la fin. En effet, les sources traitant du sujet de la pratique du sport par des personnes déficientes visuelles sont peu nombreuses autant du côté de la littérature scientifique que des journaux grand public. De surcroît, les innovations dans ce domaine se concentrent plus autour de la randonnée et de l'autonomie dans les déplacements quotidiens que sur la pratique réelle de sports quelque soit le niveau de performance souhaité.

La première partie de ce document est dédiée au rappel de quelques généralités sur le handicap visuel. Nous parlerons en particulier du fonctionnement de l'oeil humain, de ce que sont la cécité et la malvoyance et comment les définir, de l'origine de ces troubles de la vision ainsi que de la place particulière qu'occupe la cécité dans notre société.

Nous nous attaquerons ensuite, dans une deuxième partie, aux différentes méthodes de suppléance perceptive en commençant par les fondements théoriques de celle-ci avant de regarder quels sont les sens concernés et comment ceux-ci peuvent être utilisés pour restituer de l'information visuelle à des personnes aveugles ou malvoyantes.

Nous traiterons enfin dans une troisième partie les modalités de pratique du sport par des personnes déficientes visuelles sous l'angle des règlements des compétitions internationales et des innovations leur allouant plus d'autonomie.

## 2 Généralités sur les handicaps visuels

### 2.1 Fonctionnement de l'oeil humain

#### 2.1.1 Présentation anatomique de l'oeil humain

L'oeil est l'organe humain permettant la vision. C'est un globe comportant plusieurs tuniques et un corps vitré constitué d'eau. [1] L'anatomie de l'oeil est détaillée en Figure 1.

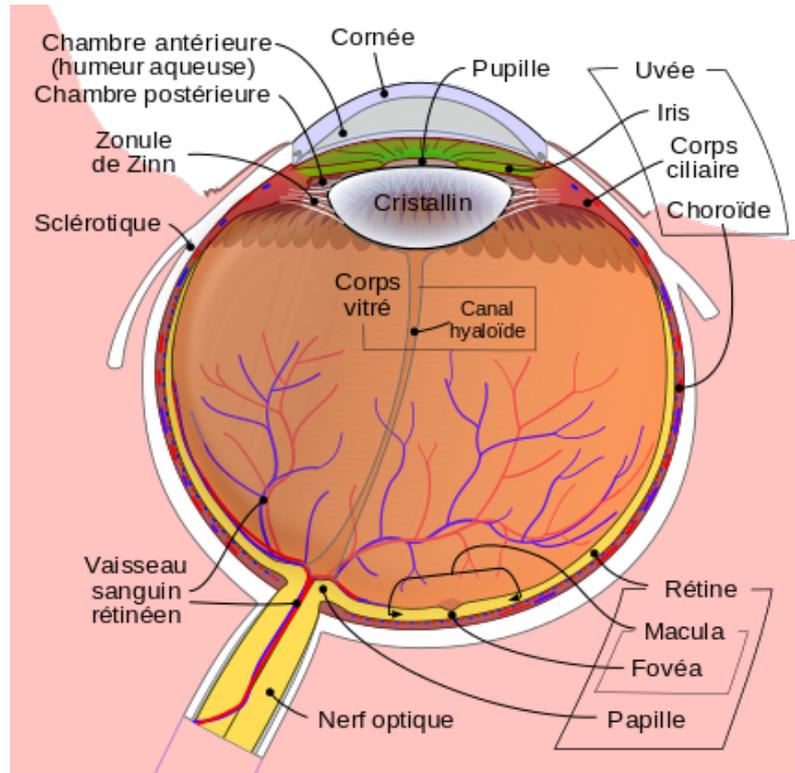


FIGURE 1 – Schéma Anatomique de l'oeil humain [1]

Parmi les différentes tuniques de l'oeil, on distingue :

- La tunique externe composée de la sclérotique, de la conjonctive, et de la cornée ;
- La tunique moyenne ou tunique vasculaire, composée de la choroïde (membrane pigmentée constituant une chambre noire), de la pupille (ouverture centrale de l'oeil), de l'iris (partie colorée permettant de contrôler la quantité entrante de lumière en ouvrant plus ou moins la pupille), du cristallin, et du corps ciliaire (corps permettant l'accommodation en modifiant la forme du cristallin) [2] ;
- La tunique interne composée de la rétine, du macula, de la tache aveugle, de la fovéa, et du nerf optique. Cette tunique est composée de deux couches : Une couche pigmentaire empêchant les phénomènes de diffusion à l'intérieur de l'oeil, ainsi qu'une couche interne composée de photo-récepteurs et de cellules permettant d'envoyer les informations visuelles au cerveau [2].

#### 2.1.2 Fonctionnement optique de l'oeil

L'oeil peut être assimilé à un système optique comme illustré en Figure 2.

La rétine est assimilée à un écran plat, l'ensemble cornée/cristallin à une lentille convergente, et l'iris à un diaphragme. Pour un homme sans handicap visuel, ce système optique a les caractéristiques suivantes [1] :

- Distance focale image : +22mm
- Distance focale objet : -17mm
- Rayon de courbure : +6mm
- Indice de réfraction :  $n = 1.337$

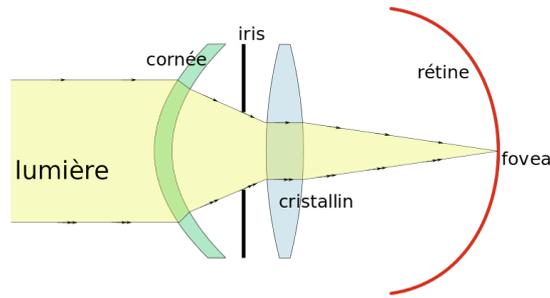


FIGURE 2 – Modèle Optique de l'oeil [1]

## 2.2 Origines et types de handicaps visuels

### 2.2.1 Acuité Visuelle et Types de handicaps

L'acuité visuelle est une grandeur permettant de déterminer la capacité d'un homme à discerner un petit objet situé le plus loin possible. [3]

On distingue différents types d'acuité visuelle [4] :

- Le minimum visible : exprimant si un élément est vu ou non ;
- Le minimum séparable : plus petite distance perceptible entre deux points ou deux lignes distinctes ;
- L'acuité de contour : capacité à reconnaître des lettres de tailles différentes ;
- L'acuité d'alignement : capacité à réaliser une tâche d'alignement.

Le minimum séparable est la notion la plus commune d'acuité visuelle et est utilisée pour différencier les différentes catégories de handicaps visuels. Elle est mesurée en prenant l'inverse du diamètre apparent en minutes d'arc se calculant comme ceci [3] :

$$a = \frac{180 \times 60}{\pi} \cdot \arctan \left( \frac{d'}{D} \right) \simeq 3,44 \cdot \frac{d}{D}$$

- $d$  : distance minimum des points discernables en mm
- $d'$  : distance minimum des points discernables en m
- $D$  : distance d'observation en m

L'acuité visuelle est mesurée pour chaque oeil, et à deux distances d'observation. Une mesure dite "de loin", où le patient se situe à 5 m d'un document composé de lettres de tailles décroissantes (échelle de Monoyer) et une mesure dite "de près" où le patient se situe à 33 cm d'un texte comportant des caractères de tailles décroissantes (échelle de Parinaud). [5]

Il existe cinq stades de déficience visuelle décrit par l'Organisation Mondiale de la Santé [6] :

- La cécité absolue : aucune perception de la lumière ;
- La cécité sévère : acuité visuelle inférieure à 1/50 ;
- La déficience profonde : acuité visuelle inférieure à 1/20 ;
- La déficience sévère : acuité visuelle inférieure comprise entre 1/20 et 1/10 ;
- La déficience moyenne : acuité visuelle comprise entre 1/10 et 3/10.

En France, la cécité légale correspond à une acuité visuelle inférieure à 1/20 pour le meilleur oeil et la malvoyance est définie par une acuité visuelle après correction comprise entre 1/20 et 4/10 [6].

### 2.2.2 Origine des handicaps

L'origine de ces handicaps dépend du type de handicap (déficience visuelle ou cécité) et des pays. De manière générale les principales causes de déficience visuelle sont [7] :

- Les troubles de la réfraction non corrigés : l'ensemble cornée/cristallin/rétine est défectueux empêchant l'image de se former sur la rétine. Les principaux troubles sont l'astigmatisme, l'hypermétropie, la myopie, et la presbytie [8] ;
- La cataracte : maladie impliquant l'opacification du cristallin et donc une baisse de la vue. Il existe plusieurs types de cataractes selon la localisation. Les principales sont la sclérose nucléaire se situant au centre du cristallin, la cataracte corticale suite à l'opacification du cortex de la lentille, la cataracte postérieure sous-capsulaire sur la partie postérieure du cristallin, et la cataracte mature. Plusieurs causes peuvent déclencher la cataracte comme l'âge, des facteurs génétiques, des traumatismes, ou des radiations (type ultra-violet) [9] ;
- La Dégénérescence Maculaire Liée à l'Âge (DMLA) : détérioration de la macula (c.f. Figure 1) entraînant un affaiblissement de la vision des détails et des couleurs. Les principaux facteurs de développement sont l'âge et le tabagisme. On distingue la forme atrophique de DMLA qui se caractérise par un rétrécissement de la rétine de la forme humide qui est causée par un développement de nouveaux vaisseaux sanguins au niveau de la macula [10] ;
- Le glaucome : dégénérescence du nerf optique entraînant une perte des signaux visuels et donc une perte la vision périphérique dans un premier temps puis centrale si la maladie continue de se développer. Le glaucome peut amener à une cécité irréversible. [11]
- La rétinopathie diabétique : Complication du diabète où les parois capillaires sont fragilisées par l'excès de sucre dans le sang entraînant l'éclatement des vaisseaux rétiniens. La rétine n'étant plus oxygénée, elle produit de nouveaux vaisseaux entraînant un épaississement de la macula et une baisse de l'acuité visuelle [12] ;
- La trachome : Infection bactérienne et contagieuse de l'oeil affectant les paupières puis les lésions cornéennes [13] ;

Parmi ces maladies, les principales causes pouvant mener à la cécité sont une cataracte non opérée (35 %), des défauts de réfraction non corrigés (21 %) ou un glaucome (8 %). [7]

## 2.3 La cécité en société

### 2.3.1 La cécité en France et dans le monde

En France, on dénombre pas moins de 1.7 million de personnes atteintes d'un trouble de la vision. Parmi ces personnes, 207 000 sont aveugles ou malvoyants profonds (aucune perception de lumière ou vision limitée uniquement à la perception de silhouettes) et 932 000 sont malvoyants moyens (correspondant aux stades de "déficience profonde", "déficience sévère", et "déficience moyenne" selon la description des stades de déficience visuelle de l'OMS). [14] On dénombre également plus de 560 000 déficients visuels légers. [15]

Dans le monde, l'OMS estime à 253 millions le nombre de personnes présentant une déficience visuelle. Parmi ces personnes, 36 millions d'aveugles, 217 millions ayant une déficience visuelle allant de modérée à sévère. Plus de 80 % des déficiences visuelles sont évitables si les bonnes mesures sont prises à temps. [15] L'OMS prévoit également que le nombre de déficient visuels aura doublé d'ici 2050 [14], imposant que des mesures soient prises.

### 2.3.2 Les mesures prises face à la cécité

Afin de combattre la déficience visuelle, de nombreux organismes (gouvernements, ONG, associations, etc.) agissent à différents niveaux. L'OMS a, ces dernières années, développer un plan d'actions mondiales pour la santé oculaire universelle visant à réduire les déficiences visuelles évitables et à améliorer la vie des personnes atteintes de déficience visuelle. [16] Ce plan d'action consiste à mettre en oeuvre différents outils d'évaluation de prestation de services de santé oculaire, et donner des recommandations afin de garantir des soins oculaires complets. [7] Mondialement, on observe que des programmes nationaux et des régulations ont été mis en place. Les organismes de santé ont été améliorés les rendant plus accessibles financièrement à la population. De nombreuses campagnes d'éducation et de sensibilisation face aux maladies pouvant provoquer une déficience visuelle ont été faites dans les écoles. [17]

En France, un site gouvernemental existe afin de recenser les différentes pratiques à adopter en cas de déficience visuelle telle que l'adaptation du logement, l'équipement de matériel adapté, les différentes aides financières, les aides à domicile ou au déplacement, etc. [18] Il existe également plusieurs associations visant à accompagner les déficients visuels telles que l'UNADEV (Union

Nationale des Aveugles et Déficiants Visuels) qui accompagne les déficients visuels, développe le dépistage, la recherche médicale et la rééducation. [19]

### 3 Suppléance perceptive

#### 3.1 Théorie

Les dispositifs de suppléance perceptive visent à assister ou à remplacer une ou plusieurs fonctions d'un organe sensoriel à l'aide d'un autre organe sensoriel. [20] Ces dispositifs renvoient régulièrement à l'idée de substitution sensorielle qui est l'idée de compenser un handicap perceptif par l'intermédiaire d'un dispositif électronique et informatique en substituant un sens à un autre. Cela consiste à convertir des stimuli propres à un sens en des stimuli propres à un autre. [21] Cependant, ces dispositifs ne permettent pas de restaurer les sens manquants mais proposent simplement une nouvelle expérience perceptive. On parle donc de suppléance perceptive et non pas de substitution sensorielle. [22]

Un des principes essentiels à comprendre lors de l'étude de dispositif de suppléance perceptive et qu'il n'y a pas de perception sans action : "La perception exige une activité permanente consistant à osciller la main en changeant la position du poignet, de sorte que la stimulation apparaisse et disparaisse sans cesse". [23] Le schéma en Figure 3 résume le concept de la perception d'un humain qui passe par l'action avec son environnement et le retour de sensations.

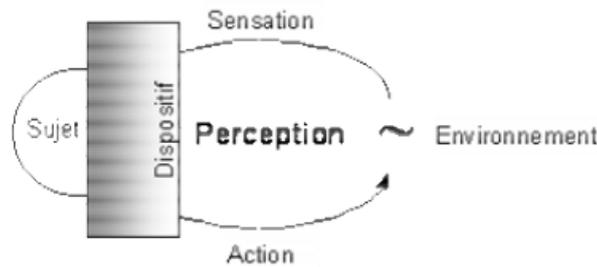


FIGURE 3 – Couplage liant l'humain à son environnement [23] [24]

En effet il faut donner au sujet aveugle les moyens d'agir sur l'objet à percevoir. Par exemple, en présentant des formes statiques sur une matrice tactile, le sujet ne pourra les reconnaître. Cependant si on lui donne la possibilité de changer l'angle de vue de ces formes, il pourra développer des capacités de reconnaissance de ces formes rapidement. [22]

#### 3.2 Pratique

Bien que tous les sens puissent être mis à contribution pour donner de l'information sur l'environnement aux personnes déficientes visuelles, seuls l'ouïe et le toucher font l'objet d'attentions particulières. L'odorat n'est que très rarement employé. On peut tout de même citer l'exemple du métro de Rennes qui a mis en place une signalétique olfactive pour aider les aveugles à se repérer [25]. A chaque direction est associée une odeur différente. Le goût quant à lui est absent des dispositifs de suppléance perceptive.

##### 3.2.1 Auditif

De nombreux systèmes utilisent l'audition pour décrire l'environnement avec des mots. On peut citer en vrac, le casque Panda Guide [26], [27], les lunettes Aira ou AudioSpot [28] ... Ces systèmes ont pour point commun une voix (artificielle ou non) qui décrit tout ce qui se trouve dans le champ visuel de la personne malvoyante. Or comme le souligne [29], décrire tout l'environnement donne un surplus d'informations à la personne utilisatrice qui ne pourra tout incorporer (le traitement peut aussi éventuellement empêcher une utilisation temps réel du dispositif [30]). D'ailleurs, les guides d'aveugles préfèrent le plus souvent éviter de donner des informations via l'audition pour

libérer ce sens pour la discussion et garder un contact avec l'environnement [31]. Ainsi, ces systèmes bien que très nombreux ne semblent pas correspondre au besoin des personnes déficientes visuelles. Pour s'en convaincre, il suffit de regarder la dernière étude sur l'utilisation des lecteurs d'écran faite par la fédération des aveugles de France [32]. Dans cette étude, on peut voir que 53 % des utilisateurs de lecteurs d'écran ne souhaitent pas avoir accès aux descriptions des images quand celles-ci sont trop longues (typiquement le cas pour une case de bande-dessinée). De plus, plus de 50 % des personnes interrogées déclarent préférer une version simplifiée ou alternative (adaptée pour des lecteurs déficients visuels) des pages web visitées. Ceci montre bien que l'on ne peut restituer l'information visuelle par une description complète de l'environnement.

Pourtant, utiliser l'audition est particulièrement tentant sachant que ce sens est plus développé chez les personnes déficientes visuelles que les voyants [33]. La solution est donc de réduire les informations à envoyer à la personne utilisatrice du système. Dans [29], l'auteur propose un système traitant dans un premier temps les informations visuelles "basses fréquences" considérées comme essentielles et dans un second temps, les informations "hautes fréquences" (les détails). Tout cela est ensuite transmis par des sons localisés à la personne déficiente visuelle. Cette technique d'audio localisée est très intéressante et particulièrement mature. On peut citer les travaux suivants : [34] ou [35]. Utiliser cette technique est d'autant plus pertinent que les personnes déficientes visuelles localisent l'origine des sons avec une meilleure précision que les personnes voyantes [33].

Une autre technologie prometteuse est l'écholocalisation. En effet, dans [36], les auteurs démontrent non seulement que l'être humain est capable d'utiliser l'écho des sons qu'il produit pour repérer des obstacles mais aussi que les personnes non-voyantes utilisent les aires du cerveau dédiées à la vision. Cette capacité humaine ne compte pourtant pas beaucoup d'adeptes que ce soit du côté des concepteurs de systèmes ou des personnes déficientes visuelles. On peut tout de même citer le système VAS (Visual Acoustic Space) [37].

Enfin, les dernières techniques de suppléance perceptive de la vision vers l'audition se basent sur la conversion d'images en sons. On ne parle plus ici de décrire ce qui se trouve devant l'utilisateur avec des mots mais d'y associer des sons qu'il pourra analyser. C'est par exemple la base du travail de [29] ou de [30]. D'autres travaux plus anciens utilisent des méthodes de codage des images via du son comme "The vOICe" [38] qui utilise un codage en temps (sur l'axe horizontal), en fréquence (sur l'axe vertical) et on volume pour la luminosité (voir Figure 4).

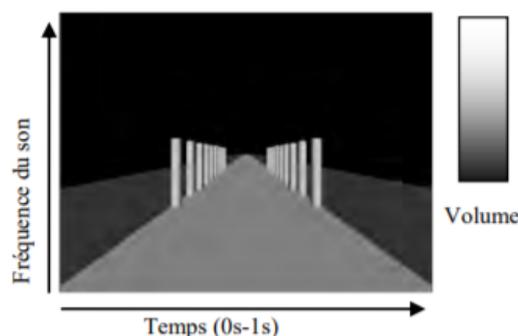


FIGURE 4 – Codage des images dans le système "The vOICe" [30]

Dans la même veine, le système "Eye music application" [39] utilise le même codage sur le plan horizontal et vertical mais différencie les couleurs en utilisant des instruments différents. Ainsi, une même image en rouge sera jouée par une flûte et une image jaune par un violon.

Le système ACVP (Auditory Coding of Visual Patterns) quant à lui supprime la dimension temps et restitue l'information en utilisant uniquement les fréquences comme le montre la Figure 5. L'avantage de cette méthode de codage sur "The VOICe" est l'instantanéité de la restitution, cependant la résolution est plus faible.

Enfin, le système "The Vibe" est un système hybride entre "The vOICe" et l'audio localisée puisque la dimension verticale est codée par une disparité inter-aurale comme le montre la Figure 6.

En conclusion, on peut dire que de nombreux systèmes utilisent l'ouïe pour restituer de l'information visuelle aux personnes malvoyantes ou non-voyantes. Cependant, ce sens est primordial pour

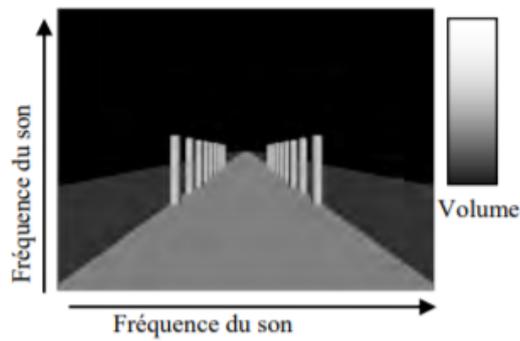


FIGURE 5 – Codage des images dans le système "ACVP" [30]

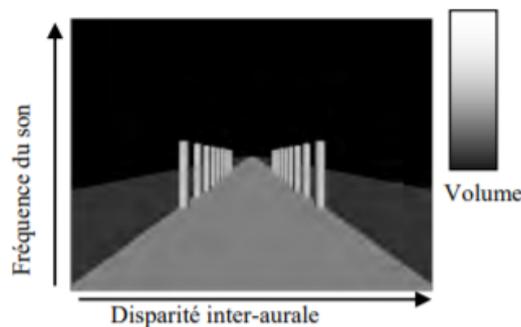


FIGURE 6 – Codage des images dans le système "The Vibe" [30]

les personnes déficientes visuelles et il convient de ne pas le surcharger d'informations sous peine de les isoler. Cependant, envoyer moins d'informations implique nécessairement que la connaissance de l'environnement est moindre. En effet, les techniques substituant l'ouïe à la vue ("The vOICe", "The Vibe", ...) ne permettent que la reconnaissance et la localisation de formes très simples et ne sont pas pour le moment utilisables en environnement réel [40].

### 3.2.2 Tactile

En complément du sens auditif, le tactile est le sens le plus adapté à la perception du monde extérieur pour les personnes atteintes de déficience visuelle. Ce sens fait partie de la somesthésie, tout comme les sensations de chaleur ou de douleur. On peut donc définir le sens du toucher plus précisément en appuyant l'idée de 'pression'. Ainsi, les méthodes de retour d'information tactiles peuvent être figées, tel un livre en braille, ou dynamiques, comme avec un actionneur vibrant. En particulier, les stimuli dynamiques peuvent être de nature vibratoire ou linéaire [41].

Le corps humain est équipé de très nombreux capteurs de pression. Ainsi, les récepteurs de stimuli tactiles sont présents sur l'ensemble de sa surface, mais aussi en son sein, comme par exemple à la surface de la langue [41]. Chaque zone possède une densité différente de capteurs et donc une aptitude variée à discriminer dans l'espace les stimuli tactiles. C'est pourquoi, les zones utilisées pour la retranscription des informations de manière tactile doivent être choisies avec astuce.

Tout d'abord, la main possède la densité maximale de récepteurs tactiles du corps humain [41]. C'est une des raisons qui en font l'instrument du toucher le plus utilisé par l'être humain, en plus du fait qu'étant présente à l'extrémité du bras, elle peut se déplacer aisément dans l'espace. Elle sert donc à toucher les détails, lire le braille, mais aussi suivre des objets de plus grande taille comme une rampe d'escalier. De surcroît, la main est qualifiée d'organe sensori-moteur. C'est-à-dire qu'en plus sa fonction de capteur, la main est un outil pour l'Homme, lui permettant de saisir, maintenir ou transporter des objets [42]. Dans ce sens, la main permet aux personnes mal-voyantes de saisir

un objet, ou plus particulièrement une canne blanche. Cette canne blanche est un prolongement de la main pour la personne l'utilisant, lui permettant de détecter les obstacles, de suivre les parcours adaptés et de se signaler aux autres individus.

Cependant, de nombreuses autres zones présentes sur le reste du corps réagissent aux stimuli tactiles. Prenons l'exemple de l'abdomen, aire souvent utilisée pour transmettre de l'information de manière vibrante. Cette zone du corps est capable de retranscrire la position d'un point de pression avec une acuité d'environ 15 degrés [41]. De plus, tout comme l'abdomen, les jambes et les avant-bras sont des parties du corps humain assez capables à la différenciation des lieux de stimulation tactile.

Ainsi, le toucher permet en premier lieu aux personnes atteintes de déficience visuelle de se déplacer et de lire. Mais, il leur octroie une liberté bien plus importante que ces deux simples actions.

Concernant les déplacements, les personnes mal-voyantes peuvent se servir d'une canne blanche comme vue précédemment. Ils peuvent de même être accompagnés d'un guide. Le lien, unissant les deux personnes se fait donc à travers le bras gauche du guide, la main droite du déficient étant agrippée à son coude, le bras faisant un angle droit. Aussi, lors des déplacements accompagnés d'un guide, il n'y a aucun échange vocal entre le malvoyant et l'aidant. Toutes les instructions se transmettent par le contact seul de la main du déficient sur le bras de son guide. Ainsi, les informations transmises sont composées de l'essentiel et la voix permet un échange simple, une conversation que deux personnes pourraient avoir sans connaître la situation présente. De plus, certains déficients visuelles sont accompagnés de chien guide. Ceux-ci offrent à leur maître une autonomie supplémentaire en les guidant, la main sur la poignée du harnais.

Autrement que par le biais de la main, le sens tactile peut permettre aux mal-voyants d'être guidés grâce à des indications retranscrites sous forme d'impulsion ou de vibration. En effet, deux bracelets permettent à un skieur aveugle de suivre un skieur voyant [43]. Le skieur voyant possède deux boutons sur ses bâtons qu'il presse en fonction du virage qu'il prend. Le mal-voyant le suivant reçoit une information vibro-tactile à travers un des bracelets situé soit à gauche, soit à droite, lui indiquant ainsi la direction à suivre.

Au sujet de la lecture, c'est donc l'écriture braille qui permet depuis le 19ème siècle aux aveugles de lire les mêmes textes que les voyants. La singularité de cette écriture est donc qu'elle est en relief. Elle est ainsi composée de plots dont la disposition représente une lettre ou une autre. Semblable à un code militaire, elle permet aux personnes mal-voyantes de lire aussi simplement qu'un voyant en passant le doigt sur les lignes de texte [44].

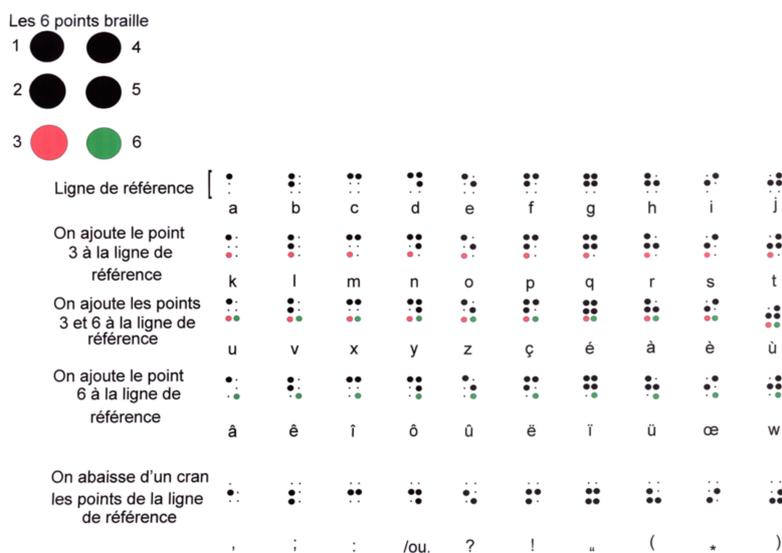


FIGURE 7 – Alphabet braille français [44]

Aujourd'hui, des dispositifs évolués existent permettant aux aveugles non seulement de lire, mais aussi d'écrire aussi simplement d'un voyant. Par exemple, la tablette braille tactile d'Insidevision

est composée de 32 cellules braille, ce qui correspond à une restitution de 32 caractères [45]. Elle permet, de plus, de dicter du texte et est équipée d'une multitude d'applications développées spécifiquement pour les personnes déficientes visuellement.

Cependant, l'écriture braille ne permet pas de reproduire les images. En effet, en 2000, Yann Arthus-Bertrand souhaita présenter son œuvre "La Terre vue du ciel" à des enfants aveugles mais il se retrouva dans l'incapacité de décrire les clichés qu'il avait pris [44]. Le groupe Alain Mikli International décida donc de travailler sur une méthode haptique tactile pour restituer l'œuvre de Yann Arthus-Bertrand. La solution trouvée mena à des expositions d'œuvres en relief composées d'une seule matière. Ainsi, sur une plaque de 8mm, 4mm était gravés et permettaient donc d'obtenir 8 niveaux de relief pour représenter les paysages pris en photo par l'artiste.

Une autre méthode de restitution des images consiste en l'utilisation de matières différentes. De cette manière, pour représenter les différentes parties d'une image, on utilise des matériaux différents ayant les formes correspondantes à ces parties. Ainsi, forme et texture s'allient pour retransmettre à la personne déficiente une représentation de l'image [42].

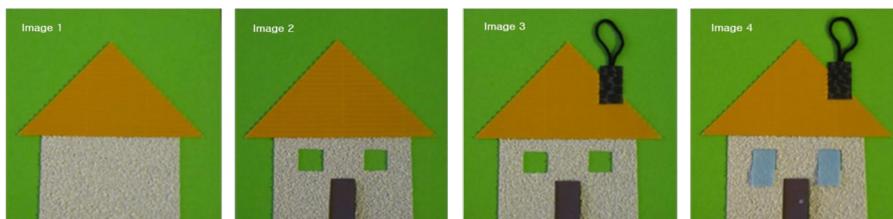


FIGURE 8 – Maisons représentées à l'aide de différentes textures [42]

En définitive, le toucher est un sens capable de restituer une quantité d'informations suffisante pour retranscrire des éléments tels que des images [46]. De même, il permet aisément de transmettre des informations très précises à la personne déficiente visuellement, pour peu que ces informations ne soient pas trop nombreuses.

## 4 Malvoyance et pratique du sport

### 4.1 Règles appliquées lors des championnats des différentes fédérations

Aujourd'hui, une multitude de sports s'ouvrent à la compétition pour les athlètes déficients visuels. En particulier, les sports suivants font l'objet d'épreuves spécifiques pour les déficients visuels aux jeux paralympiques [47] :

- Athlétisme ;
- Boccia ;
- Canoë-Kayak ;
- Cyclisme ;
- Escrime ;
- Cecifoot ;
- Goalball ;
- Haltérophilie ;
- Natation ;
- Plongée ;
- Randonnée ;
- Ski alpin ;
- Ski nordique ;
- Tennis de table ;
- Tir à l'arc.

D'autres sports sont tout de même pratiqués par les déficients visuels, dans un cadre différent de celui des jeux paralympiques. On pense notamment à l'épreuve d'escalade pour déficients visuels qui possède son championnat du monde mais pas d'épreuves paralympiques [48].

Pour des raisons d'équité vis-à-vis du niveau de malvoyance des athlètes, l'IBSA (International Blind Sport Federation) classe les athlètes déficients visuels dans trois catégories distinctes utilisant l'échelle logMAR et/ou le champ visuel [49].

- B1 : les athlètes ont un logMAR inférieur à 2,60 ;
- B2 : les athlètes ont un logMAR compris entre 1,50 et 2,60 ou un champ visuel de diamètre inférieur à  $10^\circ$  ;
- B3 : les athlètes ont un logMAR compris entre 1 et 1,40 ou un champ visuel de diamètre inférieur à  $40^\circ$ .

Le LogMAR est une échelle qui transpose l'acuité visuelle sur une échelle logarithmique selon la formule suivante :  $\log MAR = -\log(\text{Acuité Visuelle})$  [50]. Pour la comparaison, un athlète ayant un logMAR inférieur à 2,60 a une acuité visuelle inférieure à 0,0025.

Nonobstant le championnat durant lequel le sport est pratiqué, certains nécessitent une adaptation des règles pour permettre à des athlètes déficients visuels de les pratiquer (comme l'athlétisme ou le football) tandis que d'autres ne nécessitent aucun changement sinon mineurs (comme l'haltérophilie).

Dans la plupart des disciplines, les athlètes déficients visuels ont besoin d'une aide extérieure pour du guidage. Par exemple, dans les épreuves de course où les athlètes ont un couloir dédié, un guide court avec l'athlète déficient visuel. Les deux coureurs sont attachés par une cordelette. Le guide voyant restant dans son couloir, l'athlète déficient visuel ne peut quitter le sien (puisque la cordelette le retient) [51]. Le principe est le même pour les épreuves de cyclisme à la différence près que l'athlète et le guide courent sur un tandem [52]. Dans la même veine, lors des épreuves de natation, les athlètes ont besoin d'une aide extérieure les aidant à déterminer le moment où ils doivent faire demi-tour pour leur éviter de se cogner sur le bord du bassin. Pour ce faire, une personne extérieure (l'entraîneur par exemple) tape sur le dos de l'athlète avec un tige matelassée [53]. Un guide est aussi nécessaire pour les épreuves de ski (alpin ou nordique). Dans ces disciplines, le guide court devant l'athlète à quelques mètres d'avance. Ceux-ci communiquent avec des micros attachés sur leur combinaison [54]. Pour les épreuves d'escalade, le guidage se fait en deux temps. Avant l'ascension, le guide décrit la voie à l'athlète pour que celui-ci se fasse une image mentale du mur. Enfin, durant l'ascension, le guide et l'athlète communiquent (éventuellement à l'aide de micros). Le guide peut ainsi rappeler la position des prochaines prises [48].

On peut donc dire que dans ces disciplines, l'aide extérieure est relativement légère. A l'inverse, certaines disciplines doivent être complètement remodelées pour pouvoir être pratiquées par des athlètes déficients visuels. C'est par exemple le cas du tennis de table, du tir à l'arc ou du football. Le tir à l'arc est sûrement l'épreuve la moins modifiée. Le viseur de l'arc est remplacé par un viseur tactile [55]. Le football pour déficients visuels quant à lui est appelé cécifoot et se pratique à 5 contre 5 (4 joueurs de champ non valide et un gardien valide). L'entraîneur de l'équipe se place derrière le but adverse pour indiquer sa position au joueurs de champ. Le ballon, quant à lui, contient des grelots qui permettent aux joueurs déficients visuels de connaître sa position [56]. Le cas du tennis de table est le cas le plus extrême d'adaptation de sport pour déficients visuels. En effet, cette version se nomme showdown et se rapproche aussi du billard par de nombreux aspects. Les joueurs doivent envoyer la balle dans le "but" adverse. Pour ce faire, ils disposent d'une pale qu'ils peuvent faire glisser sur la table pour diriger la balle comme bon leur semble [57].

Cependant, les athlètes déficients visuels peuvent aussi pratiquer des sports qui leur sont réservés comme la boccia ou le goalball. La boccia se rapproche de la pétanque et se joue relativement de la même manière [58]. Le goalball est un sport réservé aux déficients visuels où le terrain ressemble à un terrain de handball à la différence qu'il y a trois cages par équipe. Une équipe se compose de trois joueurs gardant chacun une des trois cages. L'objectif est de marquer des buts cependant le seul mouvement autorisé est de jeter la balle dans la direction des buts adverses (à la manière d'une balle aux prisonniers). La balle, remplie de grelots, émet un signal sonore qui permet aux athlètes de la situer et ainsi de l'arrêter. Lorsqu'un tir est arrêté, c'est l'équipe qui défendait qui peut à son tour attaquer [59].

En quelques mots, on peut dire que de nombreux sports sont accessibles en compétition aux athlètes déficients visuels, que pour nombre d'entre elles, les règles ont dû être adaptées (le plus souvent par l'ajout d'une aide venant d'une personne voyante). Ces modifications ne sont toutefois pas parfaites. On peut penser aux nombreuses courses où l'athlète épuise son guide avant la ligne d'arrivée et perd à cause de cela [60]. Les modifications peuvent aussi être plus profondes et mener à la création de nouveaux sports adaptés pour la pratique par des athlètes déficients visuels.

## 4.2 Innovations

Pour faciliter la pratique du sport pour les déficients visuels, plusieurs équipements innovants ont été conçus ces dernières années. Parmi ces projets on peut lister les équipements suivants :

1. No Eyes Climing : Système d'escalade mis en place par "Escapade" dans le parc naturel régional du Morvan. Le grimpeur est équipé de bracelets sensoriels attachés à ses poignets et à ses chevilles. Ces bracelets émettent un signal sonore à la détection des prises permettant au grimpeur de localiser les prises. [61]
2. Projet Code4blind en association avec le projet BlindClimber : Programme développé à Brest, alliant programmation informatique et escalade et visant à optimiser la pratique de l'escalade pour déficients visuels. Ce programme s'organise autour de 5 thématiques [62] :
  - Analyse en profondeur d'une voie à l'aide d'une caméra Intel RealSense D435 afin de récupérer des informations précises (emplacement des prises, couleur des prises, etc.) ;
  - Utilisation d'un drone pour réaliser une série de photos et récupérer les informations importantes de la voie ;
  - Conception d'un dispositif de lecture de voie pour déficients visuels lui permettant d'appréhender la voie avant de commencer à grimper ;
  - Utilisation d'accéléromètres fixés aux membres du grimpeur afin d'enregistrer ses mouvements pour cartographier la voie ;
  - Conception d'un système de restitution d'informations pour déficients visuels basé sur un guidage par voie haptique (via des vibrations).

Ce programme s'est déroulé le week-end du 13 au 15 septembre 2019

## 5 Conclusion

La malvoyance est aujourd'hui un véritable problème de société auquel il est important de s'atteler. Cependant, les multiples causes de déficience visuelle ainsi que le coût et le caractère intrusif des interventions poussent les acteurs à se concentrer sur des systèmes permettant aux déficients visuels de vivre avec leur handicap en toute autonomie.

Ces systèmes se basent le plus souvent sur la suppléance perceptive. Les déficients visuels peuvent ainsi être aidés dans leur quotidien par de nombreux systèmes simples se basant sur le toucher - comme le braille, les cannes ou les guides - ou sur l'ouïe comme les liseuses d'écran. D'autres systèmes plus complexes peuvent aussi venir en complément en apportant une véritable plus-value. On peut citer les matrices tactiles, les systèmes similaires à "The VOICE" ... Ceux-ci bien que plus évolués doivent faire attention à ne pas surcharger l'utilisateur avec des informations peu utiles sous peine de l'isoler du monde extérieur. L'échec commercial du casque Panda Guide pourrait être traité comme un cas d'école de ce qu'il convient de ne pas faire.

Tous ces systèmes ont pour point commun d'aider les personnes déficientes visuelles dans leur quotidien en omettant complètement leur pratique d'activités sportives. En effet, les innovations technologiques dans ce domaine sont peu nombreuses et les sports pouvant être pratiqués nécessitent le plus souvent un voyant ou des règles spéciales (le plus souvent inconnues du grand public). On peut ainsi aisément comprendre le besoin pour les personnes déficientes visuelles de bénéficier d'une plus grande autonomie dans la pratique de leurs activités sportives et la nécessité pour les acteurs économiques et scientifiques de mener des projets comme BlindClimber.

## Références

- [1] Wikipedia contributors. Œil humain, October 2019. [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=C5%92il\\_humain&oldid=163177035](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=C5%92il_humain&oldid=163177035).
- [2] Claire König. Anatomie de l'oeil : une sphère complexe, January 2019. <https://www.futura-sciences.com/sante/dossiers/medecine-oeil-vision-dela-vision-667/page/4/>.
- [3] Wikipedia Contributors. Acuité visuelle, July 2019. [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Acuit%C3%A9\\_visuelle&oldid=161179268](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Acuit%C3%A9_visuelle&oldid=161179268).
- [4] Syndicat National des Ophtalmologistes de France. L'acuité visuelle. <https://www.snof.org/encyclopedie/acuit%C3%A9-visuelle>.

- [5] Collège des Ophtalmologistes Universitaires de France. Sémiologie Oculaire, 2013. <http://campus.cerimes.fr/ophtalmologie/enseignement/ophtalmo1/site/html/cours.pdf>.
- [6] Organisme Mondial de la Santé. Malvoyance : classification officiel. <https://www.snof.org/public/conseiller/malvoyance-et-handicaps-visuels>.
- [7] Organisation mondiale de la Santé. Cécité et déficience visuelle, October 2018. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>.
- [8] Wikipedia contributors. Refractive error, October 2019. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Refractive\\_error&oldid=920687690](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Refractive_error&oldid=920687690).
- [9] Cataract, October 2019. <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Cataract&oldid=920118771>.
- [10] Charline D. DMLA, 2016. <https://www.sante-sur-le-net.com/maladies/ophtalmologie/dmla/>.
- [11] Wikipedia contributors. Glaucoma, September 2019. <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Glaucoma&oldid=916676304>.
- [12] Fédération des diabétiques. La rétinopathie diabétique et les maladies des yeux. <https://www.federationdesdiabetiques.org/information/complications-diabete/retinopathie>.
- [13] Wikipedia Contributors. Trachoma, September 2019. <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Trachoma&oldid=917741296>.
- [14] Fédération des aveugles de France. Quelques chiffres sur la déficience visuelle. <https://www.aveuglesdefrance.org/quelques-chiffres-sur-la-deficience-visuelle>.
- [15] Marie-Sylvie Sander. La population en situation de handicap visuel en France, July 2005. <https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/handicapvisuel.pdf>.
- [16] Organisation mondiale de la Santé. Plan d'action mondial - Santé Oculaire Universelle, 2014. [https://www.who.int/blindness/AP2014\\_19\\_French.pdf](https://www.who.int/blindness/AP2014_19_French.pdf).
- [17] Tedros Adhanom Ghebreyesus. Visual impairment and blindness Fact Sheet n°282, May 2015. <https://web.archive.org/web/20150512062236/http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/>.
- [18] Ministère des Solidarités et de la Santé. Vivre à domicile avec un handicap visuel, August 2019. <https://www.pour-les-personnes-agees.gouv.fr/vivre-domicile/vivre-domicile-avec-un-handicap/vivre-domicile-avec-un-handicap-visuel>.
- [19] UNADEV. Site de l'UNADEV. <https://www.unadev.com/>.
- [20] Malika Auvray. *Remplacer un sens par un autre : La suppléance perceptive Le Traité de la Réalité Virtuelle III, Vol.1, L'Homme et l'Environnement Virtuel*. In P. Fuchs, 2006. [http://nivea.psych.univ-paris5.fr/Manuscripts/Auvray\\_2006-a\\_trv.pdf](http://nivea.psych.univ-paris5.fr/Manuscripts/Auvray_2006-a_trv.pdf).
- [21] Wikipedia contributors. Substitution sensorielle, October 2017. [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Substitution\\_sensorielle&action=history](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Substitution_sensorielle&action=history).
- [22] M Thernau. Substitution sensorielle - Suppléance perceptive, March 2007. <http://accs.ens-lyon.fr/accs/thematiques/neurosciences/actualisation-des-connaissances/perception-sensorielle-1/vision/inter-modalite-sensorielle/ternaux/discussion>.
- [23] Charles Lenay, Olivier Gapenne, Sylvain Hanneton, Catherine Marque, and Christelle Genouel. La substitution sensorielle : limites et perspectives. In *Toucher Pour Connaître*, page 287 à 306. Presse universitaire de France, 2000. <https://www.cairn.info/toucher-pour-connaître-9782130510451-page-287.htm>.
- [24] Amal ALI AMMAR. *Analyse des explorations haptiques de formes pour la conception d'un dispositif de suppléance perceptive dédié aux personnes aveugles*. PhD thesis, UTC Compiègne, August 2007. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00168363/document>.
- [25] Solène Durox. A Rennes, le métro se parfume pour les aveugles. *Le Parisien*, May 2018. <http://www.leparisien.fr/societe/a-rennes-le-metro-se-parfume-pour-les-aveugles-18-04-2018-7670889.php>.
- [26] Damien Bernet. Panda Guide : la réalité augmentée audio au service des aveugles (VILLAGE START-UP) - YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=VZYq8cTrq0U>.
- [27] Arnaud Lenglet. Comment fonctionne le casque pour aveugle PANDA ? <https://www.panda-guide.fr/comment-ca-marche>.
- [28] BFMTV. Santé : ces innovations qui facilitent la vie des malvoyants, March 2018. <https://www.bfmtv.com/operations/sante-ces-innovations-qui-facilitent-la-vie-des-malvoyants-1400888.html>.

- [29] Adrien Brillhault. *Vision artificielle pour les non-voyants : une approche bio-inspirée pour la reconnaissance de formes*. Intelligence Artificielle, Université Toulouse III Paul Sabatier, 2014.
- [30] Florian Dramas. *Localisation d'objets pour les non-voyants : augmentation sensorielle et neuroprothèse*. Informatique, Université de Toulouse, June 2010. [http://thesesups.ups-tlse.fr/1034/1/Dramas\\_Florian.pdf](http://thesesups.ups-tlse.fr/1034/1/Dramas_Florian.pdf).
- [31] Marc Bolivard. La technique de guide - YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=e8bJGrhZ-wE>.
- [32] Denis Boulay and Sylvie Duchateau. Etude sur l'usage des lecteurs d'écran et des outils et logiciels "basse vision" en France et en francophonie. Technical Report 2, Fédération des aveugles de France, March 2018. <https://www.aveuglesdefrance.org/actualites/resultats-de-la-deuxieme-enquete-internationale-sur-lusage-des-technologies-dassistance>.
- [33] Brigitte Röder, Wolfgang Teder-Sälejärvi, Anette Sterr, Frank Rösler, Steven Hillyard, and Helen Neville. Improved auditory spatial tuning in blind humans. *Nature*, 400 :162–166, 1999. <http://www.cogsci.ucsd.edu/coulson/cogs179/roder.pdf>.
- [34] Jeffrey Blum, Matthieu Bouchard, and Jeremy Cooperstock. What's around me? Spatialized audio augmented reality for blind users with a smartphone. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, 104 :49–62, 2011. <http://srl.mcgill.ca/publications/2011-MOBIQUITOUS.pdf>.
- [35] Martin Naef, Olivier Staadt, and Markus Gross. Spatialized Audio Rendering for Immersive Virtual Environments. *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pages 65–72, November 2002. <http://www.aasimon.org/deva/reverb/p65-naef.pdf>.
- [36] Lore Thaler, Stephen R. Arnott, and Melvyn A. Goodale. Neural Correlates of Natural Human Echolocation in Early and Late Blind Echolocation Experts. *PLOS ONE*, 6(5), May 2011. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0020162>.
- [37] J.L. Gonzalez-Mora, A.F. Rodriguez-Hernandez, E. Burunat, F. Martin, and M.A. Castellano. Seeing the world by hearing : Virtual Acoustic Space (VAS) a new space perception system for blind people. In *2006 2nd International Conference on Information & Communication Technologies*, volume 1, pages 837–842, Damascus, Syria, 2006. IEEE. <http://ieeexplore.ieee.org/document/1684482/>.
- [38] P.B.L. Meijer. An experimental system for auditory image representations. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 39(2) :112–121, February 1992. <http://ieeexplore.ieee.org/document/121642/>.
- [39] Amir Amedi. eye music application. <http://www.amedilab.com/>.
- [40] Malika Auvray, Sylvain Hanneton, and J Kevin O'Regan. Learning to Perceive with a Visuo — Auditory Substitution System : Localisation and Object Recognition with 'The Voice'. *Perception*, 36(3) :416–430, March 2007. <http://journals.sagepub.com/doi/10.1068/p5631>.
- [41] Cynthia MANDIL. Informations vibrotactiles pour l'aide à la navigation et la gestion des contacts avec l'environnement, October 2017. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&ved=2ahUKEwjPsYO94InlAhVN2OIEchfYT>.
- [42] Oriana Orlandi. *La compréhension des images tactiles chez les enfants porteurs d'un handicap visuel*. PhD thesis, Université de Boulogne, July 2016.
- [43] Marco Aggravi, Gionata Salvietti, and Domenico Prattichizzo. Haptic Assistive Bracelets for Blind Skier Guidance. In *Proceedings of the 7th Augmented Human International Conference 2016*, AH '16, pages 25 :1–25 :4, New York, NY, USA, 2016. ACM. <http://doi.acm.org/10.1145/2875194.2875249>.
- [44] Estelle Costes. *Prise en compte de la perception tactile dans la conception de représentations d'oeuvres d'art pour les personnes en situation de handicap visuel*. PhD thesis, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, March 2015.
- [45] insidevision | Produits Braille. [https://insidevision.fr/produits\\_braille\\_01.html](https://insidevision.fr/produits_braille_01.html).
- [46] Amal ALI AMMAR. *Analyse des explorations haptiques de formes pour la conception d'un dispositif de suppléance perceptivo-dédié aux personnes aveugles*. PhD thesis, UTC Compiègne, August 2007. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00168363/document>.

- [47] Guislaine Westelynck. Tableau des handicaps et possibilités de pratique. *Le Guide Handisport 2019*, page 103, 2019. <http://guide.handisport.org>.
- [48] Marie-Christelle Maury. Escalade : la voie à l'aveugle - YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=6bjMWBxIEXU>.
- [49] International Blind Sport Federation. Classification rules 2018, 2018.
- [50] Wikipedia contributors. LogMAR chart, May 2019. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=LogMAR\\_chart](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=LogMAR_chart).
- [51] BFMTV. Jeux paralympiques : certains athlètes concourent avec un guide, September 2012. <https://www.youtube.com/watch?v=UblA3wpvhn0>.
- [52] Clemens Dorner. World Para Athletics - Rules and Regulations 2018-2019. <http://athletisme-handisport.org/wp-content/uploads/2014/03/Traduction-WPA-Rules-and-Regulations-2018-2019-revue-par-Julien-.pdf>.
- [53] Clemens Dorner. World Para Swimming - Rules and Regulations, January 2018. [https://www.paralympic.org/sites/default/files/document/180313084120174\\_2018\\_03\\_WPS%2BRules%2Band%2BRegulations%2B2018.pdf](https://www.paralympic.org/sites/default/files/document/180313084120174_2018_03_WPS%2BRules%2Band%2BRegulations%2B2018.pdf).
- [54] Ligue Auvergne-Rhône-Alpes Handisport. Ski alpin - Handisport Auvergne - Rhône-Alpes, 2013. <http://www.handisport-aura.org/page/ski-alpin-42.html>.
- [55] Wikipedia contributors. Tir à l'arc handisport, September 2019. [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Tir\\_%C3%A0\\_1%27arc\\_handisport&oldid=162586246](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Tir_%C3%A0_1%27arc_handisport&oldid=162586246).
- [56] Emmanuel Trumer. Le cécifoot, discipline invisible, May 2016. <https://www.francefootball.fr/news/Le-cecifoot-discipline-invisible/676064>.
- [57] International Blind Sport Federation. Showdown - General information, 2019. <http://www.ibsasport.org/sports/showdown/>.
- [58] Rémi Duchemin. Jeux paralympiques : quels sports, quels sportifs? <https://www.europe1.fr/sport/jeux-paralympiques-quels-sports-quels-sportifs-2839303>.
- [59] Clemens Dorner. Goalball - Paralympic Athletes, Photos & Events. <https://www.paralympic.org/goalball>.
- [60] Henry Wanyoike - Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=qCQ9vGnN0vQ>.
- [61] Escapade SARL. Prises d'escalade pour déficients visuels | Escapade. <http://www.escapade-sarl.com/escalade-adaptee/prises-descalade-pour-deficients-visuels/>.
- [62] Les désordinateurs communicants. Code4blind - Les désordinateurs communicants. <https://lesdesordinateurs.org/index.php/code4climb/>.