



HAL
open science

Identifier les besoins des enfants en situation de déficience visuelle : état de l'art et étude de terrain

Emeline Brulé, Gilles Bailly, Annie Gentes

► **To cite this version:**

Emeline Brulé, Gilles Bailly, Annie Gentes. Identifier les besoins des enfants en situation de déficience visuelle : état de l'art et étude de terrain. 27^{ème} conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine., Oct 2015, Toulouse, France. pp.a11, <10.1145/2820619.2820630>. <hal-01218634>

HAL Id: hal-01218634

<https://hal.science/hal-01218634v1>

Submitted on 21 Oct 2015

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

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



HAL Authorization

Identifier les besoins des enfants en situation de déficience visuelle : état de l'art et étude de terrain

Emeline Brulé Gilles Bailly Annie Gentes
CNRS LTCI Télécom ParisTech
prenom.nom@telecom-paristech.fr

RÉSUMÉ

Dans cet article, nous rapportons les résultats d'une étude de terrain visant à identifier les besoins spécifiques des enfants en situation de déficience visuelle dans un institut spécialisé. Les principaux résultats révèlent (1) les usages actuels des technologies par les enfants déficients visuels ; (2) comment les dispositifs réflexifs et ludiques limitent les frustrations et favorisent l'engagement ; (3) l'importance de la collaboration dans les enseignements ; (4) les façons dont les encadrants modifient et adaptent les technologies pour faire face aux besoins. Ces résultats peuvent faciliter la prise de décision durant le processus de conception de techniques d'interaction pour jeunes déficients visuels et donc améliorer la qualité et l'adoption de ces techniques pour cette population.

Mots Clés

déficiences visuelles ; étude de terrain ; enfant.

ACM Classification Keywords

H.5.m. Information Interfaces and Presentation (e.g. HCI): Miscellaneous.

INTRODUCTION

L'OMS estime que 285 millions de personnes (dont 19 millions d'enfants) vivent avec des déficiences visuelles dans le monde [2]. En France, 1.2 million de personnes sont concernées (dont 170 000 enfants), 61 000 d'entre elles étant aveugles (dont environ 2000 enfants).

Les déficiences visuelles ont de lourdes répercussions sur l'intégration dans la société. En particulier, il est souvent difficile de vivre de façon autonome avec le handicap ou d'exercer pleinement sa citoyenneté. De nombreux pays ont donc établi des règles d'accessibilité comme la loi du 11 février 2005 [1] en France qui prend des mesures pour permettre la compensation des inégalités induites par le handicap. Cette loi encourage également les initiatives tirant partie des possibilités du numérique en particulier dans l'éducation [4].

Cet article s'insère dans cette perspective en se concentrant sur l'éducation des enfants déficients visuels. En effet, la prise en charge précoce et l'inclusion sont considérées comme fondamentales afin d'éviter le développement de troubles associés et pour favoriser l'intégration.

De nombreuses techniques d'interaction ont été proposées pour améliorer les technologies d'assistance pour les enfants déficients visuels (e.g. [14, 25, 27, 28, 40, 44, 47, 53, 56, 57, 59, 62, 63, 70]). Pourtant, on observe que les technologies d'assistance sont souvent abandonnées par les usagers, notamment parce qu'elles sont perçues comme stigmatisantes [38], ou à cause de la maintenance et des coûts qu'elles engendrent [55, 60, 61].

Nous soutenons que l'inadéquation de ces techniques d'interaction aux besoins des utilisateurs peut s'expliquer par le fait que les (enfants) déficients visuels sont rarement impliqués dans le processus de conception de ces techniques d'interaction [55] et cela pour plusieurs raisons : (1) les déficiences peuvent compliquer le dialogue, (2) il est difficile de rassembler un large panel homogène d'enfants déficients visuels vu leur faible nombre, (3) il y a de nombreuses difficultés pratiques (déplacement et disponibilité). Par ailleurs, nous savons que le handicap n'est pas vécu de la même façon par les enfants et les adultes [17] mais nous en savons peu sur l'expérience des déficiences visuelles par les enfants.

Dans cet article, nous présentons les résultats d'une étude de terrain visant à mieux comprendre les besoins et les usages des enfants déficients visuels. Ils montrent comment les interactions avec le contexte de prise en charge influencent leur rapport aux nouvelles technologies. Plus précisément, ils révèlent (1) les usages actuels des technologies par les enfants déficients visuels ; (2) comment les dispositifs réflexifs et ludiques limitent les frustrations et favorisent l'engagement ; (3) l'importance de la collaboration entre élèves et entre élèves et encadrants dans les enseignements ; (4) les façons dont les encadrants modifient et adaptent les technologies pour faire face aux besoins.

Nos observations et les résultats de cette étude peuvent être utiles pour les concepteurs dans le domaine du handicap visuel à deux titres : ils donnent (1) un point de comparaison aux chercheurs souhaitant entamer un travail sur les mêmes thématiques et (2) des recommandations (sous forme de caractéristiques) pour la conception de nouveaux dispositifs, qui peuvent favoriser leur adoption sur le terrain et sur le long terme. Ils peuvent améliorer la prise en compte des jeunes déficients visuels dans le processus de conception en comprenant mieux leurs besoins et leurs expériences quotidiennes. Ils pourront alors améliorer la qualité des techniques d'interaction proposées pour cette population.

LE HANDICAP VISUEL

Le handicap est une notion définie en France depuis 1930 [65], qui donne à l'infirmité une dimension sociale. « Handicap » est désormais décrit comme « un terme générique, recouvrant les déficiences, les limitations d'activités et les restrictions de leur participation [...] un phénomène complexe qui découle de l'interaction entre les caractéristiques corporelles d'une personne et les caractéristiques de la société où elle vit. Pour surmonter les difficultés auxquelles les personnes handicapées sont confrontées, des interventions destinées à lever les obstacles environnementaux et sociaux sont nécessaires » [3].

Ces dimensions plurielles et inter-disciplinaires sont étudiées par les études sur le handicap (*disability studies*). Dans un état de l'art général sur ces études, Albrecht et al. [7] recommandent la prise en compte des aspects biologiques, corporels, sociaux, subjectifs et environnementaux du handicap, ainsi que leurs inter-influences. Nous exposons ici les caractéristiques du handicap visuel en fonction de ces axes avec un focus sur les enfants déficients visuels.

Aspects biologiques

La déficience visuelle est définie par l'OMS [5], sur base de la mesure des perceptions visuelles en terme d'acuité et de champ. Lorsque l'acuité, mesurée après correction sur le meilleur oeil, est inférieure à trois dixièmes ou que le champ visuel est inférieur à 20°, il s'agit d'une déficience visuelle. La déficience visuelle sévère est une acuité entre un dixième et un vingtième. Une personne est légalement aveugle si son acuité est inférieure à un vingtième, mais les situations sont diverses : certains possèdent un reste de vision, une perception lumineuse ou colorée, tandis que d'autres n'en ont aucune. Les déficiences visuelles chez les enfants peuvent-être dûes à différents facteurs : affections congénitales, accidents ou dans le cas des pays économiquement peu développés, à des carences, des maladies infantiles et au manque d'accès aux soins [2].

Aspects corporels

Au niveau corporel, les déficiences visuelles engendrent des incapacités qui diffèrent selon la sévérité de la déficience, le moment où le handicap s'est déclaré (inné ou acquis) et les déficiences associées. Les déficiences intellectuelles et du psychisme toucheraient entre 40 et 50% des déficients visuels [61]. Des études ont montré la corrélation chez les enfants entre la cécité et des problèmes de développement cognitif [15, 18], comme les « blindismes », mais pas sur le développement intellectuel, similaire à celui des voyants [39]. Elles impactent aussi le développement sensori-moteur, donc le schéma corporel (la perception de son corps, de ses mouvements et du corps dans l'espace) [50] et la posture. L'adaptation à l'environnement demande une compensation qui entraîne une fatigue importante, mais peut également déclencher des troubles musculo-squelettiques. Enfin, une série d'attitudes sont plus fréquentes chez les personnes avec des déficiences visuelles sévères, comme le fait de tourner la tête pour tendre l'oreille durant une conversation, ce qui influe sur les interactions sociales [26]. La prise en charge précoce est cruciale pour éviter le développement de troubles associés et permet aux jeunes aveugles et malvoyants de ne pas accumuler de retards dans leur développement.

Aspects sociaux

Par aspects sociaux, nous entendons tout ce qui concerne les dynamiques d'interactions avec d'autres personnes, qui sont liées aux facteurs environnementaux. Il a été mis en évidence que les enfants en situation de handicap rencontrent des réactions hostiles ou humiliantes, de la part de leurs pairs ou d'adultes [17], et qu'ils sont touchés par des maltraitements divers [16]. Les déficiences visuelles complexifient les relations sociales, en empêchant la perception des indices non verbaux nécessaires à la communication. Chez les enfants, cela peut empêcher ou fausser leur compréhension des normes sociales, des réactions causées par un comportement ou des jeux de leurs camarades [21]. Cependant, dans le cadre d'une école inclusive, ces différences dans les interactions s'estompent [45]. Les enfants développent des approches originales de la communication pour faire face à ces problèmes, comme le « verbalisme », « connaissances verbales (sans) connaissance perceptive concrète et qui se prêtent alors à toutes sortes de déformations » [30]. Il s'agirait d'une partie d'un processus d'intégration à la société et permettant de structurer les perceptions fragmentées et multimodales (modèles réduits, descriptions orales, caractéristiques auditives...), surtout chez les enfants déficients visuels profonds [41].

Aspects subjectifs

Diverses recherches ont montré que l'enfance est un moment particulier de la construction de soi [29]. Connors et Stalkers [17] établissent que les enfants en situation de handicap se définissent par leurs similitudes avec leurs pairs, et cela malgré les nombreuses discriminations vécues qui peuvent générer des frustrations et avoir des effets négatifs sur leur estime d'eux-mêmes [19] et leurs possibilités de se projeter dans le futur. Le développement de cette confiance et d'images mentales adéquates au travers du vécu est l'un des enjeux majeurs dans la prise en charge des enfants déficients visuels. On appelle image mentale, la représentation personnelle d'un objet ou d'un concept. Lorsqu'il y a des perceptions visuelles résiduelles, elles sont utilisées pour donner le maximum d'informations visuelles permettant que ces représentations soient en adéquation avec l'environnement. Enfin, certaines situations génèrent un stress important [11] : c'est particulièrement le cas des déplacements ou des situations inconnues.

Aspects environnementaux

En accord avec Albrecht et al. [7], nous incluons dans aspects environnementaux les dimensions architecturales, culturelles, économiques et politiques. Les aménagements de l'environnement sont divers, allant des aides humaines comme les Auxiliaires de Vie Scolaire (AVS), aux aides techniques, comme l'utilisation d'outils spécifiques (loupes, bloc notes braille, cannes blanches, bande podotactile...). En France, la loi de 2005 impose l'accessibilité du cadre bâti, des voiries et des espaces publics. Cependant, la mobilité et le déplacement reste une difficulté majeure [20]. Cette obligation d'accessibilité ne concerne pas la médiation dans les établissements ce qui limite leur participation à la vie en société. Mais les enfants déficients visuels ont fortement bénéficié de ces processus d'inclusion.

Le nombre d'enfants en situation de handicap scolarisés a doublé en France depuis dix ans et on constate un usage du braille plus important chez les jeunes adultes aveugles (presque 40%), malgré le manque d'aides techniques. Au niveau économique, diverses études constatent que les déficiences et incapacités sont en moyenne plus sévères dans des milieux défavorisés. De plus, les adultes malvoyants ont un faible accès à l'emploi [61] et sont fragiles économiquement. On constate donc une volonté politique d'inclusion, mais des situations d'application hétérogènes et des discriminations environnementales persistantes.

Nous utiliserons le terme déficients visuels dans cet article, mais il est important de rappeler que ce terme recouvre des situations très diverses. Le handicap visuel ne se résume pas à l'absence de vue, mais a toute sorte d'aspects qui ont un impact sur le rapport aux technologies, et qui doivent donc être pris en compte pour leur conception, ce que confirme notre étude.

TRAVAUX PRÉCÉDENTS

L'étude des interactions entre enfants et nouvelles technologies, ou Interaction Enfant-Machine, est graduellement devenue un champ de recherche à part entière au sein de la communauté IHM [43]. Comme son nom l'indique, il s'agit de s'intéresser à la manière dont les enfants utilisent des technologies interactives, ce qui inclut (sans être limité à) la recherche en design et le développement de méthodes adaptées. Nous différencions ci-dessous les techniques d'interaction qui ont été proposées dans ce contexte, des méthodes de conception qui guident l'élaboration de ces techniques.

Techniques d'interactions pour les déficients visuels

Nouvelles interactions pour les déficients visuels

L'analyse de la littérature montre de nombreux dispositifs reposant sur les modalités tactile et haptique (e.g. [53, 56, 70]), sonore (e.g. [27, 47, 62]), leur combinaison [e.g. [14, 25, 28, 40, 44, 57, 59]] ou encore la substitution sensorielle (e.g. [63]). Ils sont principalement dédiés aux apprentissages scolaires (e.g. découverte de schémas [46, 49, 54, 56, 70], de formules mathématiques (e.g. [9, 25, 67]) ou de cartes (e.g. [14, 28])), à la mobilité et l'orientation (e.g. Electronic Travel Aids [31, 37, 66], repérage d'objets [22, 36]), à l'accès aux images (e.g. [47, 62, 68]) et aux jeux (e.g. [27, 44, 69]).

Comportements et usages avec la technologie

Bien que de nombreuses techniques d'interaction aient été proposées par des chercheurs pour améliorer les technologies d'assistance des enfants déficients visuels, elles sont rarement implémentées et testées sur le terrain. Des études indiquent également que les technologies d'assistance sont souvent abandonnées, notamment parce qu'elles sont perçues comme stigmatisantes [38] et à cause de la maintenance et des coûts qu'elles engendrent [55, 60]. Les technologies pour l'assistance concernent non seulement les enfants déficients visuels, mais aussi les enseignants spécialisés qui les prennent en charge. Leur adoption par les enseignants dépendent de la simplicité d'utilisation, l'utilité au niveau macro et micro [33], la robustesse, mais aussi sur des opinions subjectives reposant sur des expériences préalables [6, 51].

Plusieurs auteurs ont identifié des manques dans la prise en compte des usages et besoin des usagers [13, 23, 55]. C'est avec ce souci que nous nous sommes concentrés dans un premier temps sur les méthodes d'enquête pour l'identification des besoins nécessitant le développement de nouvelles interactions.

Méthodes d'enquête et analyse des besoins

Les études de terrain ont montré leur utilité pour la compréhension des usages et la conception itérative [35]. Elles s'appuient sur des méthodes diverses : observations participantes ou non, entretiens, probes (c'est à dire des objets ou prototypes, placés sur le terrain au début du processus de recherche, permettant d'obtenir des informations qualitatives sur les usages existants ou qu'ils pourraient susciter [35]) etc. La triangulation des méthodes permet de garantir des résultats plus robustes et pertinents à propos des dispositifs [42]. Cependant, à notre connaissance, peu d'études sur le terrain ont été conduites en IHM pour comprendre les usages des enfants déficients visuels.

Les enfants dans les projets de recherche

De nombreux travaux rapportent l'inclusion d'enfants dans des projets de recherche, en tant qu'utilisateurs, testeurs, informateurs ou collaborateurs [8, 23, 52]. Dans son état de l'art sur ces pratiques, Druin [23] identifie quelles méthodes peuvent être utilisées (e.g. observations, entretiens, questionnaires, journaux ethnographiques, prototypes) et comment elles peuvent être adaptées (e.g. cadre informel, utilisation de modalités non verbales...). Elle conclut sur l'impact positif de cette inclusion pour les enfants d'une part et les dispositifs développés d'autre part.

Conception impliquant des déficients visuels

Plusieurs publications décrivant les besoins des personnes déficientes visuelles font état de l'usage d'observations des déplacements avec commentaire de l'activité [12, 58], d'entretiens qualitatifs [38] ou de conception collaborative [13]. Dans le cas de la conception collaborative, Hurst Tobias [34] ont observé qu'une approche "Do-It-Yourself," permettait d'encapaciter les participants. Il s'agit cependant principalement d'études réalisées avec des adultes. Par ailleurs, des méthodes de conception participative ont été adaptées pour les enfants déficients visuels, avec l'utilisation de matériaux [44] ou de probes [32]. Les études élucidant leurs besoins restent cependant peu nombreuses.

L'inclusion d'enfants en situation de handicap

Depuis une vingtaine d'années, de multiples publications proposent des méthodes sur la consultation d'enfants en situation de handicap dans le cadre de projets de recherche [17]. Dans un état de l'art, Bailey [10] constate que si cela demande plus de ressources et de temps, leur inclusion dans le processus de recherche tend à améliorer la pertinence et la qualité du projet de recherche, à mieux prioriser les besoins et à permettre de développer des protocoles plus adaptés, améliorant les données récoltées. Cependant, ces études sont très rarement menées avec des enfants en situation, dans leur cadre quotidien. La prise en compte du contexte est donc incomplète, alors que différentes études ont montré son influence sur les usages [64].

DESCRIPTION DE L'ÉTUDE DE TERRAIN

Dans le cadre du projet de recherche Accessimap, nous avons conduit une étude de terrain visant à identifier les besoins des utilisateurs pour établir des recommandations concernant l'accessibilité des cartes de géographie. Cette étude a été menée pendant deux semaines, en deux temps, en novembre 2014 et mars 2015 dans l'Institut des Jeunes aveugles de Toulouse (IJA), accueillant des enfants et adolescents en internat ou pour rééducation, ainsi que des adultes en adaptation. Elle visait à identifier les besoins des enfants déficients visuels et ceux de leurs encadrants (thérapeutes, enseignants, parents), au travers de l'observation et de la compréhension des structures de prises en charge et des interactions avec le milieu au cours du temps. C'est pourquoi nous avons interrogé autant des enfants que des adultes faisant partie du même centre. Cette étude se base sur des méthodes qualitatives :

- Observations de séances de thérapie fonctionnelle : psychomotricité, locomotion, ergothérapie, rééducation basse vision, orthophonie ;
- Observations participantes (c'est à dire en immersion et en participant aux mêmes activités que les acteurs observés) des enseignements en classe spécialisée, classe d'intégration et inclusion dans le milieu scolaire et des transcriptions ;
- Entretiens non directifs : treize entretiens d'une heure avec les encadrants visant à décrire leur profession, comment ils définissent le handicap visuel et comment ils interagissent avec le reste des acteurs ; six entretiens longs avec des enfants et adolescents entre 8 et 15 ans dans diverses situations d'handicap : trois entretiens autour de probes, trois dans le cadre d'activités du quotidien ; six entretiens courts avec des enfants et adolescents ; un entretien avec six adultes aveugles ; un entretien autour de probes avec une adulte aveugle ; un entretien court avec un parent.
- Réalisation de probes : nous avons réalisé deux probes, un globe aux continents en relief (Figure 1), et une carte des océans découpée, en bois, posée sur une tablette, dont les océans étaient interactifs (Figure 2). Nous avons également proposé aux enfants d'utiliser un magnétophone. Ces probes nous ont permis d'observer comment ils étaient susceptibles de raconter des histoires avec et sur ces objets.

RÉSULTATS

Usages actuels des technologies

Observations

Nous avons observé des usages personnels, éducatifs et culturels de technologies interactives. Ainsi, 10 sur 12 des enfants interrogés, de tous âges confondus et toutes déficiences confondues, utilisent internet sur ordinateurs portables (n=7) ou sur tablette (n=3). Il peut s'agir d'un usage scolaire (pour des exposés ou pour préparer une activité), mais ils indiquent également s'en servir pour écouter des chansons (Figure 3) et des bandes annonces sur Youtube ou pour accéder à des jeux vidéos. Les déficients visuels sévères utilisent principalement la lecture d'écran avec des écouteurs, tandis que les déficients visuels moyens reglent plutôt les aspects visuels (agrandissement de la



Figure 1. Probe 1 : un globe aux continents en relief, imprimé en 3D. Il est ici manipulé par un enfant, qui l'explore tout en le faisant rouler sur la table « comme un ballon. » On constate l'importance de l'aspect ludique dans l'abord de ces technologies.

typographie, changement des contrastes...). Les deux enfants ne rapportant pas cette utilisation souffrent de déficiences associées.

Plusieurs adolescents sont équipés d'un smartphone qu'ils disent utiliser pour envoyer et recevoir des messages. En entretien, ils ont évoqué mettre l'écran en noir (« pour que les autres ne voient pas ce que je fais, et puis c'est magique c'est cool »), des propriétés esthétiques (« celui là est beau, il est lisse ») et leur similitude avec leurs pairs (« je fais comme mes amis, mais différemment »). Dans plusieurs cas, les déficients visuels ont manifesté leur frustration dans l'apprentissage d'une nouvelle technologie. Par exemple, lors de la découverte de Vocal Press, logiciel permettant l'accès aux journaux, un adolescent a répondu à la proposition d'assistance par « dis tout de suite que je suis débile ! Mais à quoi ça va me servir ce truc ? »

Les tablettes sont également utilisées en rééducation basse vision pour des exercices de reproduction de formes : en utilisant le fort contraste (fond noir, tracé blanc et épais) d'une application ardoise, l'orthoptiste travaille la représentation mentale et la compréhension de formes simples (Figure 4). En classe, les applications de dessin remportent également un fort succès : dès qu'ils ont une perception lumineuse, les déficients visuels peuvent s'en servir (Figure 5). Les enfants commentaient leur utilisation et s'adressaient à l'objet. Ces commentaires illustrent leur rapport à la tactilité de l'objet (« c'est tout doux ! », etc.) et une narration ludique de l'outil (« aah, mais, pinceau, reviens ! »).

Les tablettes sont également de plus en plus utilisées dans le cadre scolaire « classique » pour les déficients visuels. Elles permettent de prendre des photos du tableau pour les agrandir par exemple. D'après l'ergothérapeute rencontrée, les supports tactiles sont peu adoptés dans sa profession. Elle offre d'ailleurs des formations à ses homologues. Elle a insisté sur l'importance de la robustesse et de l'accessibilité économique des objets (« si un truc plante, ils pensent que c'est de leur faute, et ils abandonnent les dispositifs super rapidement », « il vaut mieux un Apple qu'un Android, à part s'ils sont passionnés », « c'est la vraie vie, c'est en fonction de leurs demandes et leurs moyens »).

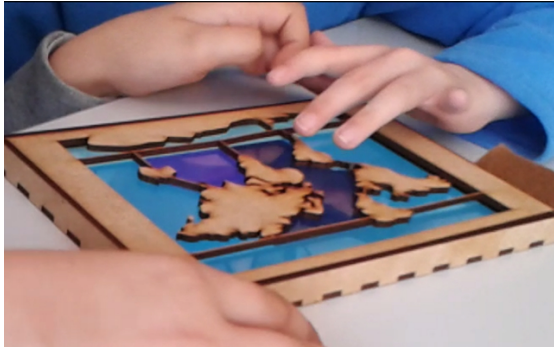


Figure 2. Probe 2 : carte découpée au laser posée sur une tablette.
 Chaque océan est une zone réactive. Il y a trois niveaux d'information : nom des océans, nom des océans avec bruit des vagues et courte description et histoire des océans. Ici, deux enfants en situation de cécité collaborent. Le plus âgé guide la main du plus jeune dans sa découverte de l'objet, ou lui indique les points d'intérêts. Il propose également d'y enregistrer la chanson « Papa Pingouin », pour expliquer ce qu'est l'arctique, ce qui montre l'intérêt des scénarios ludiques pour ce type de technologies.

Analyse

On constate (1) que les aspects biologiques et corporels ont un impact limité sur les types d'actions réalisées avec ces technologies et ce grâce aux nombreuses adaptations réalisées en interne. Cependant l'apprentissage de ces technologies semble plutôt réservé à des déficients visuels sans déficiences associées. (2) Les technologies utilisées impactent les dimensions sociales (communication, apprentissages en commun ou accès à la culture populaire). (3) Cependant, les dimensions subjectives du handicap (manque de confiance en soi, envie d'être "semblable"...) peuvent venir entraver ou favoriser ces usages. Ainsi, des dispositifs agréables au toucher et le fait de pouvoir faire comme les autres semblent renforcer la satisfaction à l'usage. (4) Les technologies grand public adaptables semblent bien adoptées ce qui fait écho aux précédentes études sur les paramètres d'adoption, comme la facilité d'utilisation et l'utilité perçues, l'accessibilité économique et la robustesse [6, 51, 55].

Recommandations pour le design

En rapport au point (2) de l'analyse, on peut souligner que les dispositifs dont l'intérêt est immédiatement évident pour les usagers, intégrant ou facilitant des fonctions sociales ou culturelles, sont plus facilement adoptés. Le point (3) montre que les caractéristiques esthétiques ont un impact fort sur l'adoption des dispositifs, à la fois parce qu'elles permettent une satisfaction à l'utilisation et pour leur impact sur la reconnaissance sociale. Les points (1) et (4) suggèrent que tirer profit des technologies populaires mais flexibles et adaptables permet d'assurer la pérennité, la robustesse et l'accessibilité économique des technologies interactives.

Les dispositifs réflexifs et ludiques

Observations

Nous rapportons ici les observations réalisées lors de l'usage des probes décrites plus haut, le planisphère interactif, le globe en relief et le magnétophone (Figure 1 et 2). Nous les avons présentés à trois enfants d'âges semblables



Figure 3. Un adolescent aveugle utilise son bloc-notes braille pour charger son lecteur MP3.

(9 et 10 ans) dont deux en situation de cécité avec perception lumineuse et un de déficience visuelle moyenne, deux adolescents et une adulte aveugle. Dans chaque cas, nous les avons laissé explorer en leur demandant de commenter. Ils ont d'abord évalué les dimensions des objets. L'un des enfants aveugles (avec déficiences associées) n'a pas reconnu qu'il s'agissait d'un globe. Chaque enfant a demandé s'il pouvait s'en servir comme ballon. Tous ont indiqué apprécier la texture, sans savoir ce que c'était (« ça ressemble à ... mais... » « on dirait du plastique mais chaud »), mais deux enfants ont indiqué ne plus vouloir toucher les îles après la première exploration parce que « ça a l'air de piquer » ou « de faire mal. » L'un a demandé qu'on lui y indique l'Inde, dont il ne connaissait que des histoires, sans savoir où elle se situait ni à quoi elle ressemblait.

Face aux cartes en bois, ils ont beaucoup commenté la texture (« c'est doux », « le bois, c'est un matériau noble », « ça me fait penser à »). Deux enfants (un aveugle et un malvoyant) n'ont pas su orienter la carte, malgré un élément physique indiquant le nord-ouest. Tous ont rapidement manifesté leur impatience face à la version de la carte avec description, mais les enfants ont proposé des contenus alternatifs (« et là, on pourrait rajouter Papa Pingouin [ndla : une chanson populaire] ! ») et demandé s'ils pouvaient aussi y enregistrer des sons, changer les voix, ou avoir une voix pour chaque personne l'utilisant.

Ce fort intérêt pour l'enregistrement de leur voix a aussi été constaté dans l'usage du magnétophone. Durant les entretiens, cette possibilité « de faire comme des journalistes » a suscité beaucoup d'enthousiasme et de rires, et suscité des réponses chez des enfants qui déclaraient n'avoir rien d'intéressant à dire.

Analyse

On constate (1) l'impact que la dimension biologique des déficiences peut avoir sur les représentations mentales donc sur la signification accordée aux objets : difficultés particulières à associer une représentation à des concepts ou à une autre représentation etc. (2) Au niveau subjectif, on observe de nouveau l'importance de la qualité des aspects tactiles, ce qui confirme de précédentes observations [44] sur le fait qu'ils évoquent des éléments du vécu. Pouvoir enregistrer leur voix semble permettre aux enfants de s'investir activement dans les dispositifs, en renvoyant une image positive. (3) Il est intéressant que cela semble également leur permettre de s'exprimer autrement

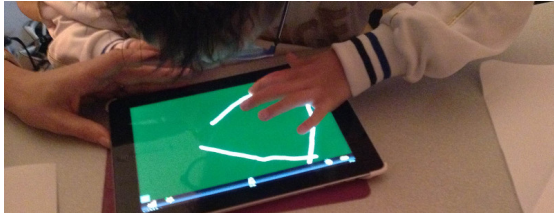


Figure 4. Durant les séances de rééducation basse vision, les tablettes peuvent être utilisées pour travailler les représentations mentales. Ici un enfant de 9 ans aveugle avec des perceptions lumineuses doit reproduire des formes géométriques.

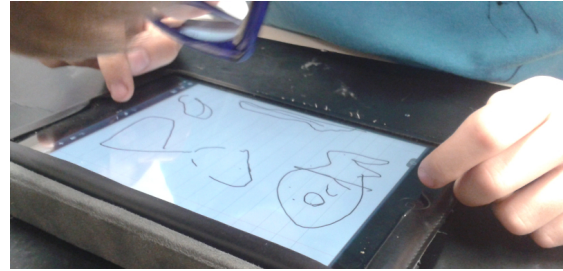


Figure 5. Pendant une leçon de géographie, des enfants malvoyants reproduisent un planisphère. On constate que cette manipulation l'oblige à se pencher très fortement et que cela ne permet pas de collaborations.

et plus facilement envers des personnes inconnues, au travers d'un rôle, donc de faciliter leur socialisation. (4) Leur demande de personnaliser l'objet avec des éléments culturels (comme la chanson « Papa Pingouin ») témoigne des possibles approches ludiques de la culture en général [48].

Recommandations pour le design

Le point (2) montre que les textures et les matériaux influencent l'intérêt pour les interactions et peuvent être utilisés, entre autre pour encourager le processus de découverte. Il nous semble donc important de proposer le plus rapidement possible des échantillons de matériaux ou de textures utilisés dans des dispositifs tangibles pour les faire évaluer par un panel d'utilisateurs. Les points (1), (3) et (4) montrent l'intérêt d'utilisation de scénarios ludiques personnalisables, notamment dans les supports scolaires : jouer un rôle et pouvoir personnaliser les interactions semble stimuler la communication et pouvoir mieux impliquer les enfants dans la conception, ce qui pourrait améliorer l'engagement et la satisfaction.

La collaboration dans les enseignements

Observations

Nous avons observé trois situations d'enseignement : en classes adaptées (réservées à des enfants en situation de handicap), en inclusion (enfant scolarisé dans une classe ordinaire) et en intégration (classe adaptée située au sein d'un établissement ordinaire). L'inclusion et l'intégration peuvent être partielles et complétées par des cours en classe adaptée pour des apprentissages spécifiques (braille...). Les enfants aveugles scolarisés au niveau primaire utilisent des bloc notes braille (Figure 6). Ils leur permettent de saisir les réponses aux exercices. Un écran affiche la saisie pour permettre de contrôler la réponse donnée. Une fois par semaine, l'enseignante enregistre l'ensemble des textes saisis pour les imprimer et les coller dans un cahier. Elle a expliqué, en entretien, que la communication des travaux et progrès scolaires a permis de mieux impliquer le milieu familial dans le suivi scolaire. Ainsi, le parent rencontré lors d'une prise en charge à domicile a indiqué adapter des supports régulièrement et s'intéresser aux recherches dans le domaine de l'accessibilité. Inversement, la valorisation dans le milieu familial semble stimuler l'enfant.

En classe adaptée, réservée à de petits groupes, chacun des six enfants avaient des déficiences visuelles différentes. Seuls deux types de planisphère étaient utilisés : un en relief et l'autre en « gros caractères », avec un fort contraste, basé sur la plus importante des malvoyances

donc lisible par les autres. Malgré le fait que chaque enfant ait été équipé d'une carte, ils les ont exploré à plusieurs (Figure 7). Cette collaboration pouvait relever de manipulation ou de conseils (« attention, l'Afrique c'est plus bas ! »), mais elle n'était pas possible pour dessiner sur la tablette (Figure 2), sa petite taille les empêchant de se pencher sur l'écran. Ils l'ont donc utilisée les uns après les autres, mais s'observaient et exprimaient des signes d'impatience (« aller, tu as bientôt fini ? ») et de compétition (« mais moi, je sais mieux ! »). Lorsqu'il leur a été demandé de répondre à des questions, ils se sont coupés la parole et ont tenté de réciter leurs leçons par cœur. L'enseignante spécialisée est alors intervenue pour attribuer la parole équitablement, tout en rassurant les enfants (« c'est bien ! », « je sais que tu as compris »), et en leur demandant de reformuler leurs réponses pour vérifier qu'elles ne relevaient pas du verbalisme. En entretien, elle a indiqué accorder une grande importance à la positivité des remarques et au renforcement de leur estime, qu'elle constate être diminuée par les discriminations scolaires ou familiales.

Nous avons présenté les probes décrites plus haut à deux enfants en même temps, afin d'observer si elles suscitaient la même collaboration. Le plus âgé a en effet guidé la main du plus jeune, lui a expliqué ce qu'était l'objet et a fait des liens entre chaque représentation : « alors là, c'est les océans à plat. Et là, c'est les océans en rond comme ils sont sur la planète. » L'un d'eux a aussi souligné que « c'était trop petit » parce qu'il ne pouvait pas faire de « par cœur » sur une carte plus petite que celle dont il avait l'habitude.

Lorsque nous leur avons demandé où ils se serviraient de ces cartes, ils ont répondu qu'ils les emmèneraient chez eux. Deux des enfants ont précisé qu'ils ne pourraient pas s'en servir en classe, expliquant que « ça fait trop de bruit » et que l'enseignant n'en voudrait pas.

Analyse

On constate que (1) les interactions sociales entre le milieu familial et scolaire semblent favorisées par l'utilisation d'objets matérialisant les connaissances et le travail effectué à l'école, car les enfants déficients visuels se sentent valorisés (dimension subjective) quand ils peuvent faire preuve de leurs connaissances. (2) L'évolution des prises en charges, notamment scolaires (au niveau environnemental donc) fait qu'une partie de plus en plus importante des enfants déficients visuels se trouve entourée



Figure 6. Scolarisé en inclusion, un enfant aveugle utilise son bloc notes braille. L'écran permet à l'AVS et aux enseignants de vérifier les réponses données. Les réponses aux exercices enregistrées sur le bloc-notes sont ensuite imprimées pour que la famille puisse s'investir dans la scolarité.

d'enfants voyants, ou d'enfants aux déficiences très diverses, et veulent collaborer avec leurs pairs et avec leurs encadrants. (3) Les représentations et reformulations permettent aussi de vérifier les connaissances et l'acquisition des images mentales.

Recommandations pour le design

Ces trois points montrent l'importance de multiplier les types de représentations, à fins de partage entre les acteurs et de diversification et renforcement des connaissances. Cela signifie faire appel à plusieurs modalités sensorielles et permettre des réglages à la fois du contenu et de l'apparence, ce qui rejoint les recommandations de Graf [28]. De manière générale, pour répondre aux challenges de l'inclusion, le design devrait s'intéresser aux dispositifs portatifs, permettant la collaboration entre voyants, malvoyants et non-voyants [59, 24]. A ce titre, l'utilisation d'interactions tangibles, parce que cela permet de faire appel à tous les sens, semble prometteuse.

La collaboration avec les thérapeutes

Observations

En plus des enseignants et de leurs parents, les enfants sont pris en charge par des ergothérapeutes, des orthophonistes, des psychomotriciens, des orthoptistes, des instructeurs de locomotion, des éducateurs, des transcripteurs et divers professionnels de santé. Ceux-ci se rencontrent régulièrement de manière informelle (surtout dans les couloirs). Ils se transmettent des informations ou des demandes relatives à la prise en charge. Les encadrants ont tous expliqué en entretien vouloir faire au mieux avec les possibilités de chaque enfant. Leur objectif principal est l'intégration au travers de l'accès à une culture commune. Deux d'entre eux ont également souligné que les enfants malvoyants sans déficiences associées pris en charge précocement obtenaient des résultats scolaires comparables aux enfants voyants. La notion de confort a également été évoquée dans chaque entretien.

Les psychomotriciens sont sollicités pour soutenir tous les apprentissages scolaires liés à l'espace (cartes, mathématiques...). Ils travaillent sur le vécu corporel, pour

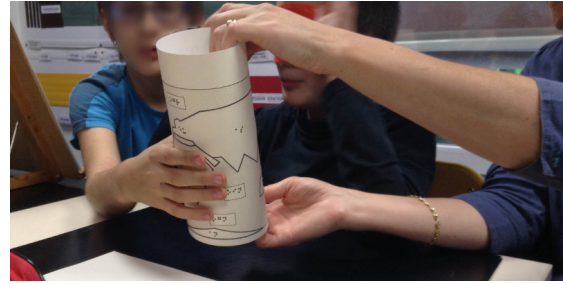


Figure 7. Deux enfants, l'un malvoyant et l'autre aveugle, manipulent une carte durant une leçon de géographie, aidés par leur enseignante. Ils s'entraident pour la localisation d'éléments, ce qui souligne l'importance de soutenir la collaboration dans les technologies d'assistance utilisées dans la classe.

renforcer la confiance en soi, et comme moyen de comprendre les concepts. Par exemple, ils organisent des ateliers de mathématiques au travers de la psychomotricité pour travailler sur la géométrie. Les orthoptistes essaient de repérer les stratégies de prise d'informations visuelles. Les ergothérapeutes travaillent les capacités d'attention, de mémoire et de manipulation nécessaires au quotidien. En plus d'un travail d'adaptation du matériel scolaire, les transcripteurs réalisent des supports (livres tactiles, cartes de quartier...) utilisés par différents thérapeutes. Les instructeurs de locomotion travaillent les déplacements dans leurs différentes dimensions : prises d'informations, modalités sensorielles, techniques et stratégies. Les orthophonistes travaillent sur les manières de gérer l'information (au travers de mouvements, de modalités visuelles ou audios) et interviennent sur des problématiques liées au langage (vocabulaire, écriture, lecture, compréhension des consignes et procédures mathématiques...).

Il est étonnant de constater le nombre d'initiatives autour du développement de technologies adaptées : réalisation d'objets tactiles en FabLab (Figure 8) en ergothérapie et transcription, réalisation de plans de quartier intégrant sons et odeurs en locomotion et arts plastiques, tentatives d'intégrer des sons à des livres tactiles textiles et adaptation d'oeuvres artistiques pour les mal et non voyants et détournements de tablettes et d'appareils photos pour équiper des classes en ergothérapie (Figure 9).

Analyse

On observe que (1) la prise en charge vise, au travers de différentes méthodes et une approche globale de toutes les dimensions des déficiences visuelles, à assurer l'intégration dans la société. (2) Les dimensions subjectives et corporelles reçoivent une attention particulière. (3) Les détournements effectués par les encadrants pour adapter des technologies économiquement accessibles aux besoins de tous les jours démontrent leur fort intérêt pour les possibilités des nouvelles interactions et peuvent ouvrir de nouvelles perspectives aux chercheurs.

Recommandations pour le design

Les points (1) et (3) nous font conclure que les techniques d'interaction et dispositifs proposés doivent permettre un grand degré de personnalisation et d'adaptation pour les enfants et leurs encadrants. Nous pouvons aussi en conclure l'intérêt d'interroger toutes les personnes im-



Figure 8. Ensemble de symboles en bois et plexiglas réalisés par le service de transcription pour un enfant scolarisé en école maternelle. Cela lui permet de reconnaître les symboles de ses camarades. Le premier essai, en bois, n'a pas convaincu car il s'avérait trop fragile. Le second, en plexiglas, a été considéré comme meilleur, du fait de son agréabilité au toucher et de sa résistance aux manipulations.

pliquées dans la prise en charge, pas seulement celles concernées par le dispositif développé. Le point (2) suggère l'intérêt de développer des dispositifs exploitant les possibilités d'interactions corporelles adaptées.

DISCUSSION

Cette étude montre l'intérêt de prendre en compte les différents aspects du handicap visuel (biologiques, corporels, sociaux, subjectifs et environnementaux) pour la compréhension des interactions avec les technologies dans cette population. Elle révèle l'importance de l'utilisation des dispositifs numériques tant dans la rééducation que dans la vie quotidienne, à mi-chemin entre outil de socialisation et de construction de soi. Nous recommandons (1) de proposer des dispositifs agréables au toucher et à la vue, (2) personnalisables, entre autre par les enfants, (3) qui proposent des représentations multimodales pour faciliter partage et collaboration, (4) ainsi que des scénarios d'utilisation ludiques et (5) à faire intervenir tous les intervenants de la prise en charge dans la conception de techniques d'interaction et de dispositifs pour cette population.

Pour illustrer ces recommandations, prenons un exemple de dispositif de carte tactile, basé sur un prototype de Brock [14], qui fait usage des dimensions collaboratives, esthétiques et ludiques et est ouvert aux personnalisations¹. L'écran tactile, est couvert d'une carte thermogonflée colorée, à la fois visuelle et tactile, qui intègre plusieurs dimensions esthétiques. Des points d'intérêt permettent d'accéder à des informations audios complémentaires. L'enseignante a pu y inclure des informations classiques (e.g. nom de villes) et ludiques (e.g. extraits audios du patois...). Dans ce cas les élèves peuvent explorer la carte à plusieurs et l'écouter en même temps ce qui facilite la collaboration. Cet exemple illustre nos recommandations et rejoint l'approche défendue par Hurst et Tobias [34].

Nous nous sommes également rendus compte de l'intérêt des technologies de fabrication numérique (notamment les imprimantes 3D et les découpeuses lasers) pour cette population. Elles ont permis le prototypage rapide de deux probes, un globe en relief et une carte interactive en bois.

¹Ce dispositif a été modifié et mis en place à l'IJA par Mustapha Ennadif et Grégoire Denis



Figure 9. Dispositif d'assistance en classe, « bricolé » par l'ergothérapeute. Il s'agit d'une caméra connectée en bluetooth à une tablette, qui peut être utilisée pour agrandir l'image au tableau.

Cela nous a permis de vérifier très rapidement des hypothèses de recherche sur l'importance de la ludicité et de la tactilité, mais aussi d'être pleinement accepté sur le terrain. En effet, ces possibilités techniques ont très rapidement été exploitées par les encadrants, qui nous ont entre autre demandé de produire plusieurs supports tactiles découpés au laser.

Si nous soutenons que ce type d'études de terrain permet d'obtenir des informations précieuses et d'impliquer enfants et encadrants tout au long d'un projet de recherche, elle peut cependant être complexe à mener au vu de ses aspects éthiques et subjectifs. Il peut être difficile de conserver suffisamment de distance avec les enfants (notamment les plus jeunes), qui sont susceptibles d'essayer d'entrer en contact physiquement, en baladant leurs mains par exemple. Certains de leurs témoignages peuvent être difficiles à entendre sans formation préalable. Enfin, l'équilibre entre la position de chercheur et de participant est instable : il peut être trouvé en décrivant clairement ce que les chercheurs sont susceptibles de réaliser et d'implémenter.

Les études qualitatives fournissent des résultats difficilement généralisables à d'autres situations. Obtenir des résultats généralisables sur les besoins des enfants en situation de déficience visuelle est difficile pour plusieurs raisons. La population d'enfants déficients visuels est faible, ce qui ne permet pas de créer un panel suffisamment large. Chaque handicap est quasiment unique, et donc implique des besoins très différents. C'est pour ces raisons qu'il est intéressant d'utiliser des méthodes qualitatives : elles permettent de fournir des preuves de l'existence d'un ou plusieurs phénomènes observés et permet de les qualifier [35, 42]. Cela est utile pour donner des points de repères, pour de futures investigations.

Enfin, il nous semble que les prochains grands chantiers de l'accessibilité pour les enfants déficients visuels résident dans les technologies soutenant leur inclusion sans nier leurs spécificités. Les démarches entamées en ce sens par le « design inclusif » nous semble particulièrement intéressantes. Rendre les personnes en situation de déficience visuelle actrices dans l'élaboration des technologies pourrait permettre des améliorations sensibles dans cette direction. Par ailleurs, l'accessibilité à des adaptations, notamment tactiles, tout au long de la vie (et pas seulement dans les centres de prise en charge) reste un problème majeur. Les technologies de fabrication numérique pourraient permettre l'apparition de dispositifs

adaptés et accessibles aux enfants déficients visuels dans des pays économiquement peu développés, comme cela est le cas avec les prothèses. L'un des autres grands domaines de recherche est l'adaptation des technologies à des situations de poly-handicaps et à l'évolution des déficiences. L'intégration des professionnels de la prise en charge dans la recherche semble indispensable pour résoudre ce type de problèmes, ce qui requerrait un travail de recherche très proche du terrain et correspondant à sa temporalité rapide.

CONCLUSION

Dans cet article, nous montrons que les handicaps visuels peuvent impacter la volonté d'apprendre l'utilisation de nouveaux outils, mais les nouvelles technologies sont bien adoptées par les enfants de notre échantillon. (2) Le fait de pouvoir personnaliser leurs outils semble améliorer leur satisfaction d'utilisation et leur facilité à communiquer avec d'autres personnes. (3) Les scénarios ludiques permettraient une meilleure adoption des technologies que des approches purement utilitaires. (4) La similitude esthétique des technologies adaptées avec les technologies grand public, et la qualité des matériaux au toucher, favorisent leur adoption. (5) Parce que les enseignements se déroulent de plus en plus en inclusion, il est indispensable que les technologies d'assistance dans l'éducation soient collaboratives et multi-modales, pour favoriser le dialogue avec les pairs qu'ils soient voyants ou malvoyants. (6) La prise en charge des déficiences visuelles implique de nombreuses personnes, des parents aux thérapeutes, qui détournent des objets et technologies existants pour leurs besoins. Les technologies ouvertes, portatives et adaptables, ou faisant appel à des interactions corporelles adaptées que ces encadrants cherchent à développer semblent être prometteuses. Nous espérons que ces recommandations pourront également servir dans le cas de l'études d'autres déficiences. Enfin, nous pensons que cette popularisation des technologies d'assistance a le potentiel de faciliter les démarches d'inclusivité.

REMERCIEMENTS

Cette étude de terrain a eu lieu dans le cadre de l'ANR-14-CE17-0018, Accessimap. Elle n'aurait pu se dérouler sans le soutien de Christophe Jouffrais, Bernard Oriola, Mustapha Ennadif, Grégoire Denis et l'équipe IRIT-ELIPSE de Toulouse et la participation de Claude Griet, Laurence Boulade, Nathalie Bedouin, Anna Colliot et l'IJA de Toulouse. Merci à Samuel Huron et Anke Brock pour leurs relectures.

BIBLIOGRAPHIE

1. Loi n° 2005-102 du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées, page 2353, JO n° 36 du 12 février, 2005.
2. World health organization, cécité et déficience visuelle - Aide mémoire N°282, 2014.
3. World health organization, handicaps - Thèmes de santé, 2014.
4. Éducol, dossier Numérique et handicap, 2014.
5. World health organization, visual disturbances and blindness (H53-H54), 2015.
6. Adiguzel T., Capraro R. M. & Willson V. L. An Examination of Teacher Acceptance of Handheld Computers. *International Journal of Special Education* 26, 3 (2011), 12–27.

7. Albrecht G. L., Ravaud J.-F. & Stiker H.-J. L'émergence des disability studies : état des lieux et perspectives. *Sciences Sociales et Santé* 19, 4 (2001).
8. Allsop M. J. *Involving children in the design of healthcare technology*. PhD thesis, University of Leeds, 2010.
9. Archambault D. Non visual access to mathematical contents: State of the art and prospective. In *WEIMS'09* (2009), 43–52.
10. Bailey S., Boddy K., Briscoe S. & Morris C. Involving disabled children and young people as partners in research: a systematic review. *Child: Care, Health and Development* (2014), n/a–n/a.
11. Baltenneck N. *Se mouvoir sans voir. — Incidences de l'environnement urbain sur la perception, la représentation mentale et le stress lors du déplacement de la personne aveugle*. PhD thesis, Lyon 2, 2010.
12. Banovic N., Franz R. L., Truong K. N., Mankoff J. & Dey A. K. Uncovering information needs for independent spatial learning for users who are visually impaired. In *ACM SIGACCESS* (2013), 24.
13. Brock A., Vinot J.-L., Oriola B., Kammoun S., Truillet P. & Jouffrais C. Méthodes Et Outils De Conception Participative Avec Des Utilisateurs Non-voyants. In *IHM'10*, ACM (2010), 65–72.
14. Brock A. M., Truillet P., Oriola B., Picard D. & Jouffrais C. Interactivity improves usability of geographic maps for visually impaired people. *Human-Computer Interaction* 30, 2 (2015), 156–194.
15. Cass H. Visual Impairment and Autism: Current Questions and Future Research. *Autism* 2, 2 (1998), 117–138.
16. Clerebaut N., Poncelet V. & Van Cutsem V. Handicap et maltraitance, 2007.
17. Connors C. & Stalker K. Children's experiences of disability – pointers to a social model of childhood disability. *Disability & Society* 22, 1 (2006).
18. Dale N. & Salt A. Social identity, autism and visual impairment (VI) in the early years. *British Journal of Visual Impairment* 26, 2 (2008), 135–146.
19. Datta P. Self-concept and vision impairment: A review. *British Journal of Visual Impairment* 32, 3 (2014), 200–210.
20. Dejeammes M., Uzan G., Seck M. & Sidot C. Déplacements des déficients visuels en milieu urbain: analyse des besoins en sécurité, localisation et orientation et pistes d'évolution. Tech. rep., CERTU, 2008.
21. Diamond K. E. The development of social competence in children with disabilities. In *Blackwell handbook of childhood social development*, P. K. Smith C. H. Hart, Ed., Blackwell handbooks of developmental psychology. Blackwell Publishing, 2002, 572–587.
22. Dramas F., Macé M., Katz B. F. & Jouffrais C. Object Localization System for the Blind: Designing a User-Centered Auditory Interface. In *CSUN Conference* (2010).
23. Druin A. The role of children in the design of new technology. *Behaviour and information technology* 21, 1 (2002), 1–25.
24. Durrant A., Hook J., McNaney R., Williams K., Smith T., Kipling M., Stockman T. & Olivier P. Design to support interpersonal communication in the special educational needs classroom. In *IDC'13*, ACM (2013), 46–55.
25. Flores S. & Archambault D. Multimodal Interface for Working with Algebra: Interaction between the Sighted and the Non Sighted. In *Computers Helping People with Special Needs*, K. Miesenberger, D. Fels, D. Archambault, P. Peñáz, and W. Zagler, Eds., vol. 8547 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer International Publishing, 2014, 606–613.
26. Galiano A. R. & Baltenneck N. Interactions verbales et déficience visuelle : le rôle de la vision dans la communication. *Revue électronique de Psychologie Sociale*, 1 (2007), 47–54.
27. Gaudy T., Natkin S. & Archambault D. Pyvox 2: an audio game accessible to visually impaired people playable without visual nor verbal instructions. In *Transactions on Edutainment II*. Springer, 2009, 176–186.

28. Graf C. Verbally annotated tactile maps—challenges and approaches. In *Spatial Cognition VII*. Springer, 2010, 303–318.
29. Harter S. *The construction of the self: A developmental perspective. Distinguished contributions in psychology*. Guilford Press, 1999.
30. Hatwell Y. *Privation sensorielle et intelligence*. PUF, 1966.
31. Helal A., Moore S. E. & Ramachandran B. Drishti: An integrated navigation system for visually impaired and disabled. In *ISWC'01*, IEEE (2001), 149–156.
32. Holt R., Moore A.-M. & Beckett A. Together Through Play: Facilitating Meaningful Play for Disabled & Non-Disabled Children through Participatory Design. In *Inclusive Design: Joining Usability, Accessibility, and Inclusion*, Springer-Verlag (2014).
33. Hu P. J.-H., Clark T. H. & Ma W. W. Examining technology acceptance by school teachers: a longitudinal study. *Information & Management* 41, 2 (2003), 227–241.
34. Hurst A. & Tobias J. Empowering individuals with do-it-yourself assistive technology. In Proc. *ASSETS '11*, ACM (2011), 11–18.
35. Hutchinson H., Mackay W., Westerlund B., Bederson B. B., Druin A., Plaisant C., Beaudouin-Lafon M., Conversy S., Evans H., Hansen H. & others. Technology probes: inspiring design for and with families. In *SIGCHI*, ACM (2003), 17–24.
36. Israr A., Bau O., Kim S.-C. & Poupyrev I. Tactile feedback on flat surfaces for the visually impaired. In *ACM CHI'12 EA* (2012), 1571–1576.
37. Katz B. F., Truillet P., Thorpe S. & Jouffrais C. NAVIG: Navigation Assisted by Artificial Vision and GNSS. In *PerCom'10*, ACM (2010), (electronic medium).
38. Kinoe Y. & Noguchi A. Qualitative Study for the Design of Assistive Technologies for Improving Quality of Life of Visually Impaired. In *Human Interface and the Management of Information. Information and Knowledge in Applications and Services*, S. Yamamoto, Ed., vol. 8522 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer International Publishing, 2014, 602–613.
39. Lebovici S., Diatkine R. & Soulé M. *Nouveau traité de psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent. 1 1*. PUF, 2004.
40. Lenay C., Thouvenin I., Guénand A., Gapenne O., Stewart J. & Maillet B. Designing the Ground for Pleasurable Experience. In *DPP1'07*, ACM (2007), 35–58.
41. Lewi-Dumont N. Langage. *Voir [barré]* 38 (2011), p–174.
42. Mackay W. E. & Fayard A.-L. HCI, natural science and design: a framework for triangulation across disciplines. In *DIS'97*, ACM (1997), 223–234.
43. Markopoulos P., Read J., Hojsniemi J. & MacFarlane S. Child computer interaction: advances in methodological research: Introduction to the special issue of cognition technology and work. *Cognition, Technology & Work* 10, 2 (2008), 79–81.
44. McElligot J. & van Leeuwen L. Designing Sound Tools and Toys For Blind and Visually Impaired Children. In *IDC'04*, ACM (2004), 65–72.
45. McGaha C. G. & Farran D. C. Interactions in an inclusive classroom: The effects of visual status and setting. *Journal of visual Impairment and Blindness* 95, 2 (2001), 80–94.
46. McGookin D. K. & Brewster S. A. MultiVis: improving access to visualisations for visually impaired people. In *ACM CHI'06 EA* (2006), 267–270.
47. Meijer P. An experimental system for auditory image representations. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 39, 2 (1992), 112–121.
48. Miville C. & Gentes A. What is ludic about ludic design? In *Meaningful Play Conference* (2014).
49. Moll J. & Pysander E.-L. S. A Haptic Tool for Group Work on Geometrical Concepts Engaging Blind and Sighted Pupils. *ACM Transactions on Accessible Computing* 4, 4 (2013), 1–37.
50. Morin C. 1. Le schéma corporel. In *Schéma corporel, image du corps, image spéculaire, Toulouse, «Psychanalyse»*. ERES, 2013, 216.
51. Nam C. S., Bahn S. & Lee R. Acceptance of Assistive Technology by Special Education Teachers: A Structural Equation Model Approach. *International Journal of Human-Computer Interaction* 29, 5 (2013), 365–377.
52. Nessel V. & Large A. Children in the information technology design process: A review of theories and their applications. *Library & Information Science Research* 26, 2 (2004), 140–161.
53. Patomäki S., Raisamo R., Salo J., Pasto V. & Hippula A. Experiences on haptic interfaces for visually impaired young children. In *ACM ICMI'04* (2004), 281–288.
54. Petit G., Dufresne A., Levesque V., Hayward V. & Trudeau N. Graphisme tactile appliqué aux illustrations de manuels scolaires à l'usage d'enfants ayant une déficience visuelle. In *IHM'08*, ACM (2008), 73–80.
55. Phillips B. & Zhao H. Predictors of Assistive Technology Abandonment. *Assistive Technology* 5, 1 (1993).
56. Pietrzak T., Crossan A., Brewster S. A., Martin B. & Pecci I. Exploration De Formes Géométriques Par Le Toucher. In *IHM'09*, ACM (2009), 251–254.
57. Pietrzak T., Martin B., Pecci I., Saarinen R., Raisamo R. & Jarvi J. The micole architecture: Multimodal support for inclusion of visually impaired children. In *ICMI 2007* (2007), 193–200.
58. Quinones P.-A., Greene T., Yang R. & Newman M. Supporting visually impaired navigation: a needs-finding study. In *ACM CHI'11 EA* (2011), 1645–1650.
59. Rasmus-Gröhn K., Magnusson C. & Efring H. E. Iterative design of an audio-haptic drawing application. In *ACM CHI'07 EA* (2007), 2627–2632.
60. Riemer-Reiss M. L. & Wacker R. R. Assistive Technology Use and Abandonment among College Students with Disabilities, 3 (23). *IEJLL: International Electronic Journal for Leadership in Learning* 3 (1999).
61. Sander M.-S., Bournot M.-C., Lelièvre M. & Tallec A. Les personnes ayant un handicap visuel: Les apports de l'enquête Handicaps-Incapacités-Dépendance. Tech. Rep. 416, DREES, 2012.
62. Sarkar R., Bakshi S. & Sa P. K. Review on image sonification: a non-visual scene representation. In *RAIT'12*, IEEE (2012), 86–90.
63. Segond H. & Maris S. IHM de suppléance sensorielle visuo-tactile pour aveugles et autistes. In *IHM'08*, ACM (2008), 93–100.
64. Stephen C., Stevenson O. & Adey C. Young children engaging with technologies at home: The influence of family context. *Journal of Early Childhood Research* 11, 2 (2013), 149–164.
65. Stiker H.-J. « Handicap handicapé ». In *Fragments pour une histoire : notions et acteurs*, H.-J. Stiker, M. Vial, and C. Barral, Eds. ALTER, Fondation de France, 1996, 18–20.
66. Sánchez J. & Elías M. Guidelines for designing mobility and orientation software for blind children. In *Human-Computer Interaction—INTERACT 2007*. Springer, 2007, 375–388.
67. Van Scoy F. L., Kawai T., Darrah M. & Rash C. Haptic display of mathematical functions for teaching mathematics to students with vision disabilities: design and proof of concept. In *Haptic Human-Computer Interaction*. Springer, 2001, 31–40.
68. Way T. & Barner K. Automatic visual to tactile translation. I. Human factors, access methods and image manipulation. *Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on* 5, 1 (1997), 81–94.
69. Wood J., Magennis M., Arias E. F. C., Gutierrez T., Graupp H. & Bergamasco M. The design and evaluation of a computer game for the blind in the GRAB haptic audio virtual environment. *Eurohaptics* (2003).
70. Yu W., Ramloll R. & Brewster S. Haptic graphs for blind computer users. In *Haptic human-computer interaction*. Springer, 2001, 41–51.