



Améliorer l'accessibilité des manuels scolaires numériques pour les élèves présentant une déficience visuelle

Rapport final du projet ACCESS-MAN

Auteurs : J. Lemarié, L. Castillan, M. Mojahid

Date : 22/07/2022

Contact : lemarié@univ-tlse2.fr – 06 63 09 58 92

<https://www.facebook.com/AccessManuel>

<https://twitter.com/AccessManuel>

Partenaires du projet



Financeurs du projet





Sommaire

| | |
|---|-----------|
| I. AVANT-PROPOS : OBJECTIFS DU PROJET ACCESS-MAN, ROLE RESPECTIF DES CHERCHEURS ET DES ACTEURS DE TERRAIN ET MODES DE COLLABORATION | 4 |
| II. RESUME DU PROJET | 6 |
| A. RESUME EN FRANÇAIS..... | 6 |
| B. RESUME EN ANGLAIS | 7 |
| III. INTRODUCTION | 9 |
| IV. SYNTHÈSE DE LA REVUE DE LITTÉRATURE | 11 |
| A. QUE SAIT-ON DE L'ACCESSIBILITE DU WEB POUR LES INTERNAUTES PRESENTANT DES TROUBLES DE LA FONCTION VISUELLE ?..... | 11 |
| B. QUE SAIT-ON DE L'ACCESSIBILITE PEDAGOGIQUE (NUMERIQUE) POUR LES ELEVES PRESENTANT DES TROUBLES DES FONCTIONS VISUELLES ?..... | 13 |
| V. METHODOLOGIE DU PROJET | 18 |
| A. ETUDE 1 : ETAT DES LIEUX RELATIF A L'ACCESSIBILITE DES CONTENUS PEDAGOGIQUES POUR LES ELEVES PRESENTANT UNE DEFICIENCE VISUELLE | 19 |
| B. ETUDE 2 : ANALYSE DES BESOINS ET DES USAGES DES ELEVES DEFICIENTS VISUELS EN MATIERE D'UTILISATION ET D'INTERACTION AVEC DES MANUELS SCOLAIRES NUMERIQUES..... | 21 |
| C. ETUDE 3 : CONCEPTION ET DEVELOPPEMENT DE PRINCIPES ET SOLUTIONS D'ACCESSIBILITE..... | 26 |
| D. ETUDE 4 : EVALUATION EMPIRIQUE DES SOLUTIONS CONÇUES..... | 27 |
| VI. RESULTATS ET DISCUSSIONS..... | 30 |
| A. ETUDE 1 : ETAT DES LIEUX RELATIF A L'ACCESSIBILITE DES CONTENUS PEDAGOGIQUES POUR LES ELEVES PRESENTANT UNE DEFICIENCE VISUELLE | 30 |
| B. ETUDE 2 : ANALYSE DES BESOINS ET DES USAGES DES ELEVES PRESENTANT UNE DEFICIENCE VISUELLE EN MATIERE D'UTILISATION ET D'INTERACTION AVEC DES MANUELS SCOLAIRES NUMERIQUES..... | 35 |
| C. ETUDE 3 : CONCEPTION ET DEVELOPPEMENT DE PRINCIPES ET SOLUTIONS D'ACCESSIBILITE..... | 44 |
| D. ETUDE 4 : EVALUATION EMPIRIQUE DES SOLUTIONS CONÇUES..... | 48 |
| VII. RECOMMANDATIONS AU REGARD DES RESULTATS | 55 |
| A. RECOMMANDATIONS CONCERNANT LA CONCEPTION DES MANUELS SCOLAIRES NUMERIQUES | 56 |
| B. RECOMMANDATIONS RELATIVES A L'ACCOMPAGNEMENT DES ELEVES DEFICIENTS VISUELS EN MILIEU ORDINAIRE | 57 |
| VIII. PRESENTATION DES SUPPORTS D'APPLICATION DEVELOPPES | 58 |



IX. EVALUATION..... 63

X. CONCLUSION 69



I. Avant-propos : Objectifs du projet ACCESS-MAN, rôle respectif des chercheurs et des acteurs de terrain et modes de collaboration

L'objectif poursuivi dans le projet ACCESS-MAN est de construire des connaissances spécifiques sur les besoins des élèves ayant un trouble de la fonction visuelle en matière d'accessibilité des manuels scolaires numériques et de concevoir et évaluer des solutions possibles pour y répondre. Il s'agit plus précisément d'étudier les caractéristiques spécifiques des modalités d'accès aux manuels scolaires numériques et multimédia par ces élèves et leurs conséquences sur les apprentissages scolaires pour concevoir et évaluer des principes de conception. *In fine*, il s'agit de faire du numérique un levier pour un accès facilité et plus autonome aux contenus et activités pédagogiques plutôt qu'un obstacle supplémentaire.

Le projet a mobilisé des chercheurs de 3 laboratoires aux expertises complémentaires.

Le laboratoire CLLE (UMR CNRS 5263, UT2J, CNRS) possède une expertise en **psychologie cognitive et ergonomie des apprentissages**. **L'IRIT** (UMR 5505) a mis au service du projet son expertise et ses compétences en **interaction humain-machine appliquées au champ de la déficience visuelle**. Ces 2 laboratoires ont fourni des outils et plateformes expérimentales utiles à la conduite des études en laboratoire. **Le GRHAPES (INS HEA)** possède une expertise dans **l'inclusion scolaire et les adaptations en lien avec le handicap**.

Les chercheurs mobilisés ont mis au service du projet leurs connaissances de la littérature scientifique dans des domaines complémentaires et utiles aux objectifs du projet, ont construit des dispositifs méthodologiques et techniques permettant de recueillir des données fiables et exploitables pour répondre aux questions de recherche et ont analysé les données recueillies.

Les acteurs de terrain ont également mis à la disposition du projet leur expertise dans des domaines pertinents au regard du projet. L'Agence Nationale pour l'apprentissage des élèves à besoins spécifiques de Suède (SPSM) a fait bénéficier de son expertise précieuse pour le projet en matière **d'adaptation numérique des manuels scolaires**. Un des chercheurs a pu assister à la formation dispensée par cet organisme aux enseignants accueillant des élèves présentant une déficience visuelle en classe ordinaire et a pu procéder à des observations ouvertes de situations d'apprentissage impliquant des élèves aveugles interagissant avec un manuel scolaire numérique adapté grâce à l'aide de cette agence. L'agence a également mis à disposition des chercheurs un guide pour l'adaptation des manuels scolaires pour les élèves déficients visuels, ce qui a permis d'avoir une vision précise des pratiques avancées de ce pays en matière d'accès à l'information pédagogique.

L'IJA de Toulouse et le CIVAL Lestrade (A.S.E.I) sont deux **centres spécialisés dans l'accompagnement des enfants et adolescents présentant une déficience visuelle** accompagnant au total près des 200 élèves présentant une déficience visuelle inclus en classe ordinaire ; ils ont apporté leur **expertise dans le champ du handicap**, plus



précisément sur les questions relatives à la **scolarisation des élèves présentant une déficience visuelle et à l'adaptation des contenus pédagogiques**. Aussi, ils ont joué un **rôle facilitateur** dans le processus de recueil de données en mettant en contact les chercheurs avec les familles des élèves, en communiquant sur le projet et en mettant à disposition des moyens logistiques. Surtout, c'est **leur participation à toutes les étapes du projet qui a permis d'assurer la dimension participative ambitionnée dans ce projet**. Ainsi, chaque étude a été présentée à ces structures avant d'être mise en œuvre afin d'avoir des retours utiles des professionnels (par exemple pour choisir et calibrer la durée des tâches au regard de la fatigabilité de certains élèves) et surtout les résultats obtenus aux différentes études ont été systématiquement exposés aux équipes de ces structures afin de co-construire l'interprétation des résultats observés dans nos études. Ces échanges ont été **utiles et fructueux pour les 2 communautés** puisque les interprétations des résultats ont pu s'ancrer dans les réalités de terrain au-delà des modèles théoriques utilisés par les chercheurs et les résultats ont aussi permis d'objectiver et de rationaliser des vécus ponctuels de professionnels. Les recommandations ont également été validées par les professionnels afin de vérifier leur viabilité au regard des réalités de terrain.

Pour faciliter l'interface et les échanges entre les chercheurs, les formateurs spécialisés et les personnes déficientes visuelles, le projet a bénéficié du soutien du Laboratoire commun Cherchons Pour Voir.

La maison d'édition Nathan est intervenue à plusieurs niveaux. Elle a fourni l'ensemble des supports pédagogiques nécessaires pour les études impliquant des manuels scolaires numériques et a **partagé son expertise en matière de conception des manuels scolaires numériques**. Aussi, elle a **contribué au développement de versions alternatives de manuels scolaires numériques** lors des évaluations empiriques des solutions d'accessibilité. Tous les résultats issus des études que nous avons réalisées qui pouvaient être utiles à la question de la conception des manuels scolaires numériques ont été systématiquement diffusés vers ces professionnels. Un rapport faisant état des recommandations issues des résultats à nos études a été établi et diffusé, et des actions de sensibilisation/formation des chercheurs vers les professionnels ont été organisées. Une suite du projet pourrait d'ailleurs être envisagée pour aller plus loin dans l'implémentation des solutions d'accessibilité proposées.



II. Résumé du projet

A. Résumé en français

Le projet ACCESS-MAN s'inscrit dans un double contexte : une volonté politique forte de développer des ressources pédagogiques numériques dans les établissements scolaires (Plan Numérique pour l'Education) et des difficultés pour les professionnels de l'édition de manuels scolaires numériques à concevoir des ressources pédagogiques accessibles pour les élèves en situation de handicap visuel inclus en classe ordinaire, faute de connaissance spécifiques de leurs besoins.

L'objectif poursuivi dans cette recherche est de construire des connaissances spécifiques sur les besoins des élèves ayant un trouble de la fonction visuelle en matière d'accessibilité des manuels scolaires numériques et de concevoir et évaluer des solutions possibles pour y répondre. Il s'agit plus précisément d'étudier les caractéristiques spécifiques des modalités d'accès aux manuels scolaires numériques et multimédia par ces élèves et leurs conséquences sur les apprentissages scolaires pour concevoir et évaluer des principes de conception. *In fine*, il s'agit de faire du numérique un levier pour un accès facilité et plus autonome aux contenus et activités pédagogiques plutôt qu'un obstacle supplémentaire.

Au niveau scientifique, grâce à un consortium pluridisciplinaire, le projet articule des contributions conjointes de la psychologie cognitive des apprentissages, de l'ergonomie cognitive, de l'informatique textuelle et de l'interaction homme-machine tout en intégrant une expertise forte du handicap visuel et du contexte d'inclusion. La faisabilité et la capacité du projet à transférer les connaissances produites vers la société et les acteurs de terrain a été renforcée par l'implication de multiples partenaires du milieu socio-éducatif.

Plusieurs études complémentaires ont été réalisées pour analyser les besoins des élèves présentant un trouble de la fonction visuelle en matière d'accessibilité pédagogique numérique. Globalement, les résultats indiquent que les élèves non-voyants ne peuvent actuellement pas utiliser les manuels scolaires numériques pour des raisons d'accessibilité technique. Si les élèves malvoyants eux peuvent accéder aux manuels scolaires numériques et en ont des perceptions positives, dans les faits, ils les utilisent peu, notamment en raison de difficultés liées à l'utilisation d'outils d'agrandissement qui s'accommodent mal de l'organisation de l'information en double page et du manque de multimodalité. Lors de la réalisation de tâches impliquant le manuel scolaire numérique, l'accès agrandi impose aux élèves malvoyants de nombreuses actions de navigation et davantage de partage attentionnel par comparaison à leurs pairs voyants ; ces spécificités génèrent une augmentation de la charge mentale extrinsèque, et subséquemment un plus grand nombre d'abandons, une dégradation des performances, un allongement des temps de réalisation, par comparaison aux élèves voyants. Pour pallier cette difficulté, un principe de solution basé sur les principes d'intégration de l'information et de multimodalité (Mayer, 2014) a été évalué expérimentalement auprès d'élèves malvoyants. Les résultats indiquent des bénéfices de la solution sur les mesures d'atteinte



du but, de temps de réalisation et de performances mais aussi sur les perceptions subjectives, par comparaison au format classique proposé dans les manuels scolaires numériques. Soulignons que le principe de solution présente un autre avantage : il est également bénéfique pour les élèves voyants et n'implique donc pas un accès spécifique, différencié pour les élèves malvoyants. Le principe de solution s'inscrit donc pleinement dans une perspective de conception universelle.

L'ensemble de ces résultats permet d'enrichir à la fois le champ de recherche de l'apprentissage multimédia qui n'a que peu considéré le cas des apprenants en situation de handicap mais aussi de fournir des recommandations pour la conception de manuels scolaires numériques accessibles.

Ce travail de recherche a bénéficié du soutien financier de l'Université Fédérale de Toulouse Midi-Pyrénées, de la Région Occitanie et de la Fondation Internationale de la Recherche Appliquée sur le Handicap.

Mots-clefs : accessibilité ; élèves déficients visuels ; apprentissage ; manuel scolaire numérique

B. Résumé en anglais

The ACCESS-MAN project is part of a double context: a strong political will to develop digital educational resources in schools (Plan numérique pour l'Education en France, par exemple) and difficulties for digital textbook designers to design accessible educational resources for visually impaired students included in regular classes, due to a lack of specific knowledge of their specific needs.

The goal of this research is to build specific knowledge about the needs of students with visual impairment in terms of accessibility of digital textbooks and to design and assess possible solutions to meet them. More precisely, it aims at studying the specific characteristics of the modalities of access to digital and multimedia textbooks by these students and their consequences on learning in order to conceive and evaluate design principles. Ultimately, the goal is to make digital technology a lever for easier and more autonomous access to educational content and activities rather than an additional obstacle.

At the scientific level, thanks to a multidisciplinary consortium, the project combines joint contributions from cognitive psychology of multimedia learning, cognitive ergonomics, textual computing and human-computer interaction while integrating a strong expertise in visual disability and the inclusion context. The feasibility and the capacity of the project to transfer knowledge produced to society and the actors in the field was reinforced by the involvement of multiple partners from the socio-educational field.

Several complementary studies were carried out to analyze the needs of students with visual impairment in terms of digital educational accessibility. Overall, the results indicate that to date, blind students cannot currently use digital textbooks for technical accessibility reasons. While visually impaired students can access and have positive



perceptions of digital textbooks, in reality, they make little use of them. This low use is partly due to difficulties in using magnification tools that do not accommodate double-page information organization and lack of multimodality. When carrying out tasks involving the digital textbook, enlarged access imposes to visually impaired students numerous navigation actions and more attentional sharing as compared to their sighted peers; these specificities generate an increase in extrinsic mental workload, and subsequently a greater number of dropouts, a deterioration in performance, and a lengthening of completion times, compared to sighted students.

To overcome this difficulty, a solution principle based on the principles of information integration and multimodality (Mayer, 2014) was experimentally evaluated with visually impaired students. The results indicate major benefits of the solution on measures of goal attainment, completion time, and performance but also on subjective perceptions, compared to the traditional format offered in digital textbooks. It should be noted that the solution principle has another advantages: it is also beneficial for sighted students and therefore does not imply specific, differentiated access for visually impaired students. The solution principle is therefore fully in line with a universal design perspective

All these results enrich the field of multimedia learning research, which has only rarely considered the case of learners with disabilities, and provide recommendations for the design of accessible digital textbooks.

This research work was financially supported by the Université Fédérale de Toulouse Midi-Pyrénées, the Occitanie Region and the International Foundation for Applied Research on Disability.

Keywords: accessibility; visually impaired students; learning; digital textbook



III. Introduction

Le monde de l'éducation connaît des évolutions en permanence. Parmi elles, deux ont motivé les questions instruites dans le projet ACCESS-MAN : d'une part, une volonté politique forte de développer l'utilisation des ressources pédagogiques numériques dans les établissements scolaires, volonté qui s'incarne en France dans le Plan Numérique pour l'Éducation¹ lancé en mai 2015 et d'autre part, l'éducation inclusive imposée par la loi de 2005 qui prévoit que les élèves en situation de handicap soient scolarisés dans des établissements ordinaires.

La volonté affichée d'introduire davantage les outils et ressources numériques dans les salles de classe se traduit en France par le plan numérique pour l'éducation. Ce plan adopte une approche globale en proposant trois mesures-clés visant à former les enseignants, équiper les élèves et mettre à disposition des nouvelles ressources pédagogiques numériques. Si les récents rapports nuancent les résultats de telles mesures en indiquant des faiblesses tant dans sa mise en œuvre sur le terrain (Delaubier, 2015) que sur l'apport même de ces outils et ressources (Amadiou & Tricot, 2014), aujourd'hui, plus que jamais, le numérique est au cœur des pratiques pédagogiques. En 2020, en France, toutes les écoles ont fermé leurs portes en raison d'une crise sanitaire majeure. La continuité pédagogique est rendue possible essentiellement grâce à l'utilisation des outils et ressources numériques. Selon l'Éducation Nationale², la continuité pédagogique mobilise différents types de supports numériques : ressources créées par les enseignants, ressources éditoriales pré-existantes, la plateforme « Ma classe à la maison » du Centre National d'Enseignement à Distance (CNED), les manuels scolaires en possession des élèves et des ressources disciplinaires ou transversales du site académique et des autres sites institutionnels. Cependant, ces mesures questionnent l'égalité des élèves face à ces nouvelles modalités d'enseignement et d'apprentissage.

À la rentrée 2019-2020, 361 500 enfants et adolescents en situation de handicap étaient scolarisés en établissement ordinaire⁴. Si ce nombre est en constante augmentation, le rapport réalisé par la commission d'enquête sur l'inclusion des élèves handicapés dans l'école et l'université de la République³, quatorze ans après la loi du 11 février 2005, insiste sur le fait que des progrès conséquents sont encore à réaliser. Il souligne notamment un parcours scolaire mis à mal par des problèmes d'accessibilité en prenant pour exemple l'absence de contenus pédagogiques adaptés ou les difficultés dans l'aménagement des examens. Si les politiques d'inclusion prévoient diverses mesures afin de garantir l'égalité des droits et des chances, l'introduction grandissante du numérique dans la classe pose la question de l'accessibilité pédagogique numérique. Les ressources numériques pédagogiques étant principalement conçues pour être appréhendées visuellement (Chunawala *et al.*, 2009), ce sont les élèves aveugles et malvoyants qui risquent de subir les plus grandes limitations d'activités si l'accessibilité de ces ressources

¹ <https://www.education.gouv.fr/le-numerique-au-service-de-l-ecole-de-la-confiance-308365>

² <https://eduscol.education.fr/95/continue-pedagogique>

³ <https://www.education.gouv.fr/l-etat-de-l-ecole-2019-11246>



n'est pas garantie. Or, 5 297 élèves présentant un trouble de la fonction visuelle étaient scolarisés en établissement ordinaire en 2019.

Dans ce contexte, le projet ACCESS-MAN vise à répondre aux questions suivantes : Comment les élèves présentant un trouble de la fonction visuelle accèdent aux contenus pédagogiques numériques et interagissent avec eux ? Quelles sont les difficultés qu'ils rencontrent et les stratégies qu'ils mettent en place pour y faire face ? Quelles sont les causes de ces difficultés ? Comment concevoir des manuels scolaires numériques qui répondent aux besoins des élèves présentant un trouble de la fonction visuelle ?

***Témoignage de M. Clerc, coordonnateur pédagogique au CIVIL
Lestrade / ASEI à propos du projet ACCESS-MAN***

Les spécialistes de la scolarisation des élèves déficients visuels conviennent que la question de l'accès à l'information écrite est une des trois problématiques principales auxquelles sont en permanence confrontés ces élèves, au même titre que la représentation spatiale et la gestion du temps.

Avec l'exception handicap aux droits des auteurs, créée en 2006 par la loi DADVSI, puis confortée par la loi LCAP de 2016, un grand pas a été franchi : les fichiers numériques des ouvrages édités sont désormais systématiquement mis à disposition d'associations agréées, qui peuvent ainsi mieux adapter les documents à remettre aux élèves déficients visuels. L'accès à ces ressources garantit la fidélité à l'ouvrage original, permet de gagner en efficacité, et ainsi de consacrer plus de temps à la personnalisation des adaptations. Les services de transcription peuvent aujourd'hui produire des supports ciblés, en réponse à des problématiques visuelles spécifiques.

La limite du dispositif est évidente : les élèves construisent mieux leurs apprentissages grâce à ces supports très adaptés, mais ils restent dépendants des organismes et services qui en assurent la mise en forme.

Les éditeurs scolaires ont depuis plusieurs années diversifié les formes de leurs publications : des versions numériques de tous les manuels scolaires papier sont aujourd'hui disponibles, pour des achats à l'unité. La majeure partie des élèves déficients visuels sont des utilisateurs, souvent experts, des outils informatiques. Leur permettre l'exploitation directe de ces manuels numériques, sans intermédiaire, serait une avancée majeure dans leur accès autonome à l'information écrite.

C'est tout l'enjeu du projet Access-Man.

IV. Synthèse de la revue de littérature

Dans le cadre de cette revue de littérature, il a été choisi de traiter une thématique plus large que celle du projet en raison du faible nombre de travaux existants sur la question de l'accessibilité des ressources pédagogiques numériques mais aussi parce que les questions instruites dans le projet s'inscrivent dans le contexte plus large de l'accessibilité numérique d'une part et de l'accessibilité pédagogique d'autre part.

L'accessibilité pédagogique réfère à la possibilité pour un élève d'accéder, comprendre et répondre à un contenu pédagogique (Ketterlin-Geller & Tindal, 2007) idéalement avec efficacité (performance au sens atteinte du but), efficience (temps requis pour atteindre le but) et satisfaction. Sur ce point, des travaux portant sur l'adaptation des enseignements aux besoins éducatifs spécifiques des élèves aveugles et malvoyants peuvent être mobilisés. Lorsque la tâche d'apprentissage implique l'utilisation de technologies numériques pour l'apprentissage (p. ex. les manuels scolaires mais plus largement les pages web, les documents numériques, les plateformes comme l'environnement numérique de travail), la question de l'accessibilité numérique se pose alors.

Ce choix d'élargir le thématique de la revue de littérature tient aussi à notre préoccupation qu'elle soit utile à diverses catégories d'acteurs impliqués dans l'accessibilité et l'adaptabilité des ressources numériques pour l'éducation : les enseignants spécialisés et « ordinaires » accueillant des élèves aveugles et malvoyants dans leurs classe, les formateurs d'enseignants, les spécialistes en charge de l'adaptation ou de la transcription de documents pédagogiques dans les structures spécialisées, les éditeurs de ressources numériques, les développeurs de sites web et de plate-formes, les concepteurs de technologies d'assistance et les industriels.

Voici donc une synthèse d'une revue de littérature portant à la fois sur l'accessibilité pédagogique et l'accessibilité numérique pour les élèves aveugles et mal voyants ; ces travaux sont issus de recherches en sciences de l'Ingénieur et en sciences de l'Homme et de la Société.

A. Que sait-on de l'accessibilité du web pour les internautes présentant des troubles de la fonction visuelle ?

Tout d'abord, au plan conceptuel, la revue de littérature montre la nécessité de distinguer la possibilité d'accéder à une ressource de la possibilité d'interagir avec cette ressource de façon efficace, efficiente et satisfaisante. Si l'accès à l'information est évidemment un pré-requis, il n'est pas suffisant. Cette **distinction entre accessibilité et utilisabilité** se fonde notamment sur l'observation que des sites web réputés accessibles au sens normatif (conformité à des standards de conception internationaux tels que les WCAG⁴) ne sont pas forcément utilisables par des utilisateurs aveugles.

⁴ <https://www.w3.org/Translations/WCAG20-fr/>

Les travaux qui ont étudié les performances mais aussi les perceptions et émotions ressenties par les internautes atteints de trouble de la fonction visuelle lorsqu'ils naviguent ou plus largement interagissent avec des pages web obtiennent des résultats convergents : malgré les recommandations pour la conception de pages web accessibles (WCAG), les utilisateurs atteints de troubles de la fonction visuelle ressentent des **difficultés spécifiques qui les empêchent parfois d'atteindre leur objectif** (problèmes d'efficacité), qui **allongent de façon considérable les temps requis** pour atteindre leurs buts (problèmes d'efficacité). Ces difficultés génèrent souvent un **sentiment de désorientation** (Giraud *et al.* 2018) et **des frustrations** importantes lors de leurs interactions avec Internet ou plus largement les interfaces (problèmes de satisfaction, Lazar *et al.*, 2007). Le problème de la **surcharge mentale** est identifié de façon récurrente dans la littérature (p. ex. Evans & Douglas, 2008) : lorsque les utilisateurs atteints de troubles de la fonction visuelle interagissent avec des outils numériques, ils doivent mobiliser une grande quantité de ressources mentales en mémoire de travail et une bonne partie de ces ressources sont dévolues à la résolution de difficultés spécifiques liées à l'accès non visuel. Cette **charge mentale extrinsèque**, souvent élevée en mémoire de travail, porte préjudice à la mise en œuvre de processus mentaux utiles à la réalisation de la tâche (p. ex. évaluer la pertinence d'une information dans le cadre d'une recherche d'information sur Internet). Ce phénomène n'est pas propre à l'utilisation des nouvelles technologies puisqu'il s'observe par exemple dans le cadre des apprentissages de l'écrit chez les élèves déficients visuels (Douglas *et al.*, 2011) mais aussi plus largement dans les apprentissages explicites chez les élèves tout venant (Sweller, Kalyuga & Ayres, 2011). C'est donc **l'expérience utilisateur** de l'internaute dans sa globalité qui est considérablement dégradée et qui peut donner lieu à des désavantages sociaux.

Aussi, les travaux dans le champ de l'accessibilité web ont cherché à mieux comprendre les difficultés et les stratégies utilisées par les utilisateurs atteints d'un trouble de la fonction visuelle pour identifier leurs besoins spécifiques. **Les origines de ces difficultés** sont multiples. Il y a la **non-conformité aux standards de conception par les développeurs web** (p. ex. absence d'alternative textuelle à des images) mais aussi les **problèmes de compatibilité entre les interfaces et les technologies d'assistance** utilisées pour y accéder. Cette dimension technique n'est pas à négliger car c'est celle qui est la plus génératrice de barrières à l'accès à l'information et de frustrations pour les utilisateurs aveugles.

Une autre catégorie de cause provient **des spécificités des restitutions offertes par les technologies d'assistance**. L'accès par les lecteurs d'écran aux informations est **séquentiel et linéaire**. Aussi, les travaux sur l'accessibilité numérique mettent en lumière pour les internautes aveugles des **besoins concernant la possibilité de se représenter l'organisation des informations** sur la page, dimension qui échappe à la lecture sérielle et linéaire proposée par les lecteurs d'écran (Giraud, Uzan & Théroutanne, 2011), **d'utiliser plusieurs modalités sensorielles** (haptique et auditive) pour traiter l'information (Murphy *et al.*, 2012, Sorin, 2015) et de focaliser les efforts de traitement de l'information sur les **informations pertinentes eu égard à la tâche** (cf. p. ex. les

problèmes liés aux pop-up publicitaires). Ainsi, si le respect des WCAG peut garantir l'accessibilité normative, il n'assure pas pour autant **l'accessibilité effective** (Folcher, Lompré, & Gouédard, 2007 ; Power, Freire, Petrie, & Swallow, 2012). De plus, les WCAG sont centrées sur le souci de rendre compte à l'utilisateur de toutes les informations visuelles. Or, si cette restitution exhaustive peut certes permettre à l'utilisateur handicapé visuel d'accéder aux mêmes informations qu'un voyant, elle ne garantit pas nécessairement l'atteinte du but et pire, peut générer des entraves à l'atteinte du but. Ainsi, le fait d'avoir accès à toutes les informations peut imposer des **exigences mentales importantes de sélection de l'information pertinente et d'inhibition des informations non pertinentes** qui peuvent à force de répétitions, conduire au découragement et à l'abandon.

Dans le champ de l'accessibilité numérique, les solutions identifiées pour répondre aux besoins particuliers des utilisateurs atteints de troubles de la vision sont diverses : **inciter les développeurs à mieux se conformer aux WCAG** (en développant des outils automatiques d'évaluation, Lee & Lee, 2019), **établir des critères d'utilisabilité complémentaires** aux normes existantes (Leporini & Paterno, 2008), **proposer des techniques innovantes d'interaction** avec les sites web (p. ex. Giraud, Théroüanne, & Steiner, 2018).

Si ce constat que les WCAG sont insuffisantes pour assurer l'accessibilité effective du web peut paraître décourageant de prime abord, il témoigne surtout du fait qu'en matière d'accessibilité web, il y a eu de tels progrès qu'au-delà d'une obligation de moyens, **l'ambition est maintenant d'atteindre une obligation de résultats.**

B. Que sait-on de l'accessibilité pédagogique (numérique) pour les élèves présentant des troubles des fonctions visuelles ?

Penchons-nous à présent sur les travaux ayant trait à l'accessibilité pédagogique. Observe-t-on des phénomènes et résultats similaires lorsqu'un élève accède à des ressources pédagogiques (numériques et non numériques) et lorsqu'un internaute interagit avec une page web ?

Actuellement, l'accessibilité pédagogique en milieu ordinaire convoque plusieurs questions (Douglas *et al.*, 2009) : l'évaluation des besoins éducatifs particuliers des élèves, l'adaptation de la pédagogie (stratégies d'enseignement et ressources pédagogiques), l'accessibilité des dispositifs d'évaluation de connaissances et la question des apprentissages spécifiques tels que la mobilité ou la maîtrise des technologies d'assistance. L'accessibilité des ressources pédagogique numériques n'est donc qu'une partie des questions qu'il faut traiter pour assurer l'accessibilité pédagogique.

Pour rendre les ressources pédagogiques numériques pour l'éducation accessibles, **plusieurs approches sont possibles et combinables.** Ces solutions s'inscrivent sur un continuum dont une extrémité correspond à du « sur mesure » et l'autre à de la conception dite universelle ou encore native (Vanderheiden, 2012).

Côté « sur mesure », il s'agit de **pratiques d'adaptations à des besoins éducatifs particuliers individuels** (pour une synthèse, voir Lewi-Dumont, 2016), à la demande et

au coup par coup. Les principales problématiques concernent l'accès à l'écrit et à des représentations graphiques et il existe de nombreux travaux qui cherchent à informer et outiller les professionnels de la création et de l'adaptation de ressources pédagogiques⁵ en lien parfois avec des problèmes particulièrement prépondérants dans certaines disciplines (mathématiques, éducation physique et sportive, p. ex.). L'étude de Douglas et al. (2011) souligne un phénomène intéressant : les élèves aveugles qui accèdent à l'écrit par le braille expérimentent des temps de décodage plus longs, ainsi qu'une charge mentale plus élevée, ce qui impacte négativement la compréhension écrite. Or, ce phénomène ne va pas sans rappeler des difficultés observées au niveau de l'accessibilité web.

Ces éléments attirent notre attention sur le fait que rechercher de l'information sur le web, lire un texte pour le comprendre sont des tâches qui mobilisent un espace de traitement conscient de l'information, la **mémoire de travail**, qui a une **capacité limitée**. La quantité d'informations qu'on peut traiter simultanément dans cet espace et les processus de pensée que l'on peut y mettre en œuvre sont limités. Si cette capacité limitée de traitement s'impose à tous les apprenants (et tous les internautes), elle est particulièrement prégnante pour les élèves ayant un trouble de la fonction visuelle en raison des **contraintes de séquentialité** liées à l'accès par des modalités différentes ou adaptées (Cattanéo & Vecchi, 2011). Si bien entendu, ces élèves peuvent mettre en place des stratégies pour faire face à ces contraintes comme une plus grande attention auditive, l'écoute accélérée (Hertrich & Dietrich, 2009) ou encore le scanning auditif, le risque d'une plus grande difficulté à apprendre persiste.

Si ces adaptations sont nécessaires pour permettre l'accès aux ressources pédagogiques, la revue de littérature réalisée par Douglas et al. (2009) révèle qu'il n'y a **pas de preuve attestant de la nécessité de mettre en place une « macro-stratégie » d'enseignement spécifique** pour les élèves présentant un trouble de la fonction visuelle car **les mécanismes d'apprentissage chez ces élèves ne sont pas fondamentalement différents de ceux observés chez les élèves voyants**, ce qui correspond aux conclusions de Hatwell (2003) à propos du développement des enfants souffrant d'une incapacité visuelle. En revanche, des micro-stratégies sont nécessaires telles que l'agrandissement ou l'utilisation de modalités alternatives à la modalité visuelle, l'allongement des temps impartis pour la réalisation de tâches et des enseignements spécifiques. On note qu'une partie de ces stratégies est proche de recommandations pour l'accessibilité du web.

A l'autre extrémité du continuum qualifiant les solutions pour l'accessibilité des ressources numériques se trouve **l'ambition de la conception universelle** (universal design) qui préconise de prendre en compte tous les utilisateurs et non plus un utilisateur « moyen » au sens gaussien du terme pour proposer des ressources numériques dites nativement accessibles, c'est-à-dire directement accessibles via une technologie d'assistance et minimisant le recours à des adaptations spécifiques.

⁵ Un projet intitulé Géoaccess financé par la FIRAH a d'ailleurs porté sur ce point précis. <https://www.firah.org/geoaccess.html>



Aussi, **les travaux sur l'accessibilité web sont sans aucun doute utiles à la conception de ressources numériques pour l'apprentissage** car une part importante de ces ressources (manuels scolaires numériques, moodle, etc.) suppose bien une activité de navigation et de recherche d'information, à l'instar de ce qui est couramment pratiqué par les internautes lorsqu'ils interagissent avec des pages web. Aussi, **l'élaboration des recommandations pour l'accessibilité et l'adaptabilité des ressources numériques pour l'École (A2RNE⁶)** constitue une avancée certaine pour la conception de manuels scolaires numériques accessibles et utilisables. Ces recommandations A2RNE s'inspirent des critères du Référentiel Général d'Accessibilité pour les Administrations (RGAA⁷) pour les instances au cas des ressources numériques pour l'éducation.

Pendant, un élève aveugle ou malvoyant qui utilise un manuel scolaire numérique ne déploie pas uniquement des activités de navigation et de recherche d'informations. Par exemple, il doit également **interagir avec des contenus pour réaliser des tâches spécifiques** relevant des activités typiques de l'apprentissage : lire un texte pour répondre à des questions, résoudre un problème, mémoriser des éléments, etc. Autrement dit, la question de l'interaction avec le manuel scolaire numérique ne se réduit pas seulement à la question de la navigation et de la recherche d'informations, elle concerne également la **possibilité de réaliser des tâches d'apprentissage spécifiques** (Kelly *et al.*, 2004) qui impliquent bien souvent de devoir **sélectionner, organiser et intégrer** des informations provenant de différents médias (Mayer, 2014). Par exemple, une tâche typique dans un manuel scolaire de français consiste à lire un poème pour répondre à des questions portant sur ce poème en saisissant les réponses directement dans le manuel. Autrement dit, les résultats issus des travaux portant sur l'amélioration de l'accessibilité web, s'ils sont utiles pour assurer l'accès à l'information contenu dans les ressources pédagogiques telles que les manuels scolaires numériques, la navigabilité dans la ressource et l'écoutabilité des contenus, ne garantissent pas l'accessibilité des tâches pédagogiques. Or, c'est bien **la possibilité de réaliser les tâches pensées par les enseignants** dans le contexte spécifique de l'inclusion en milieu ordinaire, au-delà du simple accès à l'information qui est **critique pour les apprentissages**. Cela est compatible avec une préconisation de Petrie & Bevan (2009) concernant l'accessibilité web : la nécessité de comprendre les utilisateurs, les tâches et les contextes.

Il est à souligner que s'il existe de nombreux travaux dans le champ de l'accessibilité web sur les besoins des internautes aveugles, **il existe en revanche très peu de travaux sur les besoins des élèves aveugles ou malvoyants lorsqu'ils utilisent des ressources numériques pour apprendre**. De plus, d'après Douglas *et al.* (2009), les études réalisées focalisent sur les difficultés et stratégies n'emploient que trop peu souvent des protocoles basés sur la comparaison, que ce soit la comparaison d'un groupe

⁶ <https://eduscol.education.fr/cid89501/accessibilite-et-adaptabilite-des-ressources-numeriques-pour-l-ecole.html#%20%20%20lien1>

⁷ Le RGAA a pour objectif de fournir un cadre méthodologique et un référentiel technique pour vérifier la conformité avec les critères de succès des WCAG.

d'élèves aveugles ou malvoyants avec un groupe d'élèves voyants ou la comparaison de l'utilisation de différents outils chez des élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle.

Un point intéressant qui ressort de cette revue de littérature est que la majorité des travaux de recherche portant sur l'accessibilité numérique ont impliqué des élèves ou utilisateurs aveugles et **seuls de très rares travaux ont été réalisés auprès de personnes malvoyantes**, alors même que la prévalence de la malvoyance est plus élevée que celle de la cécité complète. Une explication possible à ce constat est que sur le plan scientifique, il est plus facile d'interpréter des résultats obtenus auprès de personnes aveugles que ceux observés chez des personnes malvoyants car la cécité complète est un trouble moins hétérogène (même si ses conséquences au plan psychologique restent très dépendantes de l'âge d'apparition de la cécité, Hatwell, 2003) que la malvoyance pour laquelle les atteintes de la vision peuvent être très variables en fonction de l'origine du trouble. Ce constat nous a conduit à **étudier de façon plus approfondie les besoins des élèves malvoyants**. Si une partie des besoins des personnes malvoyantes est similaire à ceux éprouvés par les personnes aveugles en raison des contraintes de séquentialité et de linéarité qui sont communes à l'accès imposé par l'utilisation d'agrandisseurs d'écran ou de lecteur d'écran, la possibilité d'exploiter un résidu visuel constitue une différence importante au niveau cognitif mais également au niveau de l'acceptabilité des outils. Ainsi, les élèves malvoyants semblent très attachés à la possibilité de continuer à exploiter leur résidu visuel, même si celui-ci est très faible et que l'utilisation d'une technologie d'assistance comme un lecteur d'écran paraît *a priori* plus pertinente.

Un autre point intéressant qui émerge de cette revue de littérature concerne le fait que les personnes atteintes de troubles de la fonction visuelle, qu'il s'agisse d'élèves ou d'internautes adultes, ont **tendance à préférer utiliser des fonctionnalités offertes par des technologies grand public** (zoom, Text-To-Speech, reconnaissance vocale de l'ordinateur ou du smartphone) aux technologies d'assistance car les premières sont jugées plus faciles à utiliser, moins stigmatisantes et moins coûteuses que ces dernières (p. ex. Hewett & Douglas, 2015, Shinohara & Wobbrock, 2011). Également, ils ne sont pas motivés par l'utilisation d'une version spécifique des contenus comme la version texte d'une page web (Theophanos & Redish, 2003). Cette tendance souligne l'intérêt de la **recherche d'une accessibilité native des ressources pédagogiques** couplée à des modalités d'accès qui ne soient pas forcément pensées/présentées comme s'adressant aux utilisateurs ayant un trouble de la fonction visuelle mais plus largement pour des utilisateurs pour laquelle la modalité visuelle est peu ou pas disponible (p. ex. consultation de l'information sur un écran de téléphone ou en situation de mobilité, Vadas, Patel, Lyons, Starner, & Jacko, 2006 ; Yu & Miller, 2011). L'intégration de ces fonctionnalités dans les technologies grand public (ordinateurs, smartphones, tablettes) les rendent, semble-t-il, plus acceptables pour les utilisateurs/élèves présentant une incapacité visuelle que leur équivalent fonctionnel mais spécifique (le lecteur d'écran p. ex.). Or, de nombreux travaux en ergonomie des interfaces ont montré le rôle essentiel de l'acceptabilité sociale dans l'utilisation effective des outils (p. ex. Nielsen, 1993). Aussi, dans cette perspective, il serait judicieux que les recherches portant sur l'accessibilité et l'utilisabilité des outils pour les utilisateurs/élèves présentant un trouble de la fonction visuelle intègrent la



question de leur acceptabilité, notamment sociale. Le contexte de l'inclusion en milieu ordinaire rend probablement cette question plus prégnante qu'auparavant.



V. Méthodologie du projet

Dans cette partie, nous avons choisi, par souci de cohérence et pour faciliter la lecture, de présenter tout d'abord **la démarche globale du projet, puis les méthodologies et techniques spécifiques mobilisées pour chaque étude réalisée**. Les éléments relatifs à la mobilisation des acteurs de terrain pour assurer la dimension participative d'une part et les informations relatives au traitement des résultats d'autre part sont **intégrés dans cette présentation** plutôt que de faire l'objet de parties spécifiques.

Rappelons que le projet poursuit 2 grands objectifs : 1. Caractériser finement les besoins des élèves non et malvoyants en matière d'accessibilité des manuels scolaires numériques et 2. Proposer et évaluer des solutions de conception pour améliorer leur accessibilité. L'approche adoptée dans ce projet se fonde sur une **démarche participative, centrée sur une analyse des besoins spécifiques et des perceptions des élèves non et malvoyants** en matière d'utilisation et d'interaction avec les manuels scolaires numériques. Il s'agit donc d'analyser au plus près des usages la façon dont les élèves non et malvoyants inclus en classe ordinaire apprennent et interagissent avec des manuels scolaires numériques particulièrement du point de vue des processus de synthèse cognitive (Bris dans Lewi-Dumont, 2016). Cette analyse centrée sur les comportements et points de vue des utilisateurs finaux a classiquement mobilisé des **techniques quantitatives et qualitatives mais elle a aussi intégré à chaque étape du projet l'expertise et les retours de professionnels de terrain (enseignants spécialisés, transcripteurs, formateurs, éditeurs de manuels scolaires numériques)**. Cette dimension participative du projet, essentielle pour assurer un ancrage de la construction des connaissances en prise avec les **réalités concrètes des terrains** (structures chargées de l'accompagnement des élèves en situation de handicap visuel, chaîne de production d'un manuel scolaire numérique, déploiement des outils numériques dans les écoles), ancrage indispensable au **transfert des connaissances construites**, s'est appuyée sur des **échanges très étroits et réguliers** avec, d'une part, les 2 structures qui accueillent et accompagnent des élèves aveugles et malvoyants dans leur scolarisation, l'IJA et le CIVAL Lestrade (plus particulièrement les enseignants spécialisés), et d'autre part, avec les Editions Nathan qui commercialisent des manuels scolaires numériques.

Ces échanges ont porté sur de multiples éléments :

- Objectifs et différentes phases du projet,
- Elaboration des dispositifs d'étude et organisation logistique,
- Interprétation des résultats obtenus et implications pour les pratiques professionnelles,
- Réunions de travail thématiques, p. ex. sur le format EPUB3, sur l'expérience suédoise en matière d'adaptation des manuels scolaires numériques.

Il s'agissait, bien au-delà de la simple présentation des études prévues et de requêtes pour organiser l'accès aux élèves et les signatures de consentement des familles, d'intégrer des contraintes mais aussi des questionnements, des analyses liées aux et issues des pratiques professionnelles.



Les Éditions Nathan ont également été mobilisées pour la construction du matériel nécessaire aux expérimentations. Des codes d'accès à la plateforme Bibliomanuel ont été fournis à l'ensemble des participants de l'expérimentation « retours des usages ». Aussi, les chercheurs bénéficiaient d'un accès illimité aux manuels scolaires numériques des Éditions Nathan. Les fichiers natifs ont également été mis à disposition afin de réaliser une évaluation de leur accessibilité et faciliter la création de nos prototypes à tester dans la dernière expérimentation. De nombreux échanges ont eu lieu entre les chercheurs et les équipes des Éditions Nathan.

Preuve de l'intérêt des acteurs de terrain pour cette problématique et grâce aux nombreuses communications réalisées ayant permis sa mise en lumière, nous avons collaboré avec des structures n'étant pas des partenaires identifiés du projet : IRSA Peyrelongue, Institut Montéclair d'Angers, Arc-en-ciel de Marseille. Des temps d'échanges formels et informels avec les professionnels (p. ex. enseignants spécialisés, transcripteurs, personnels de direction) de ces structures ont pu être avoir lieu. Aussi, dans chacune d'entre elle, sur la base du volontariat, des adolescents ont été sollicités pour réaliser nos expérimentations.

Des échanges réguliers ont également eu lieu avec le réseau Canopé de Lille (Mr Oger et Mr Bal) et F. Pinto Da Silva (expert en accessibilité chez EDRLab) au sujet des aspects techniques relatifs aux formats et applications de lecture. Leur expertise technique a été précieuse en vue de l'élaboration d'une solution de conception.

Voici le détail des méthodes et techniques mobilisées pour chaque étude.

A. Etude 1 : Etat des lieux relatif à l'accessibilité des contenus pédagogiques pour les élèves présentant une déficience visuelle

a) Rappel des objectifs

Dans cette étude, il s'agissait de : (1) repérer le processus d'adaptation des contenus pédagogiques tel qu'il est pratiqué actuellement en France en le mettant en perspective avec d'autres pratiques au niveau international, (2) identifier les principales modalités d'accès aux ressources pédagogiques utilisées par les élèves voyants et malvoyants (technologies d'assistance, sollicitation de l'AESH, adaptations, etc.), (3) recenser et catégoriser les difficultés qu'ils rencontrent pour réaliser des tâches d'apprentissage impliquant des ressources pédagogiques ainsi que (4) les conséquences et stratégies mises en place pour y faire face et enfin, (5) d'évaluer par inspection l'ergonomie et l'accessibilité des manuels scolaires numériques sur la base de deux référentiels : les critères ergonomiques de Bastien et Scapin (1997) et les Recommandations pour l'Accessibilité et l'Adaptabilité des Ressources Numériques pour l'École (A2RNE). L'ensemble des éléments issus de cette analyse de l'existant, confrontés aux connaissances issues de la littérature, ont constitué les soubassements des autres études du projet.

b) Méthodes et techniques mobilisées :

La méthode empruntée ici relève d'une **démarche exploratoire, qualitative et très ouverte** classiquement utilisée en ergonomie lorsqu'il s'agit de construire un premier niveau de description générale du contexte dans lequel s'inscrit la tâche étudiée (Daniellou & Béguin, 2004). Afin de bien cerner les conditions dans lesquelles les élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle accèdent aux ressources pédagogiques, numériques ou non, il convient de **connaître comment ces ressources sont adaptées et rendues accessibles** (le procès d'adaptation et les moyens d'accès), **les difficultés rencontrées et leurs conséquences**. A cette fin, l'analyse descriptive s'est basée sur :

- **L'examen de sources documentaires jugées pertinentes** : Textes de références 2017 « Adaptation scolaire et scolarisation des élèves handicapés » volume 1 et 2 (INSHEA, 2017) ; « Riktlinjer och arbetssätt för pedagogisk anpassning » (Special Needs Education Authority, 2016) ; le rapport « Les structures ayant une activité d'adaptation des oeuvres au bénéfice des personnes en situation de handicap - réalités observées et perspectives » (IGAENR, 2016).
- Le recueil direct de données par **observation exploratoire et entretiens ouverts avec différentes personnes jugées pertinentes pour l'analyse**. Ainsi, côté édition-adaptation des ressources pédagogiques, quatre entretiens ont été réalisés auprès de professionnels du monde de l'édition (dont trois personnes travaillant pour les éditions Nathan : la directrice Nathan secondaire, la cheffe de projet numérique/référente accessibilité et la responsable de la production numérique), trois auprès d'adaptateurs-transcripteurs de différents instituts (un de l'Institut des Jeunes Aveugles de Toulouse, deux du Centre de Technique Régional pour la Déficience Visuelle de Villeurbanne) et enfin, quatre entretiens ont été menés auprès de personnes considérées comme expertes des questions d'accessibilité numérique dans le champ associatif (un membre de la Fédération des Aveugles de France, un membre du Groupement des Professeurs et Educateurs d'Aveugles et d'Amblyopes et deux membres du Groupement des Intellectuels Aveugles et Amblyopes).
- Le recueil direct de données par **observation exploratoire et entretiens non directifs auprès des élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle**. Des observations ouvertes en classes d'élèves non et malvoyants en situation de devoir accéder à une ressource pédagogique (numérique ou non) ont été réalisées (pour un total de 70 heures), ainsi que deux entretiens auprès d'élèves non-malvoyants centrés sur la question de l'accessibilité des ressources pédagogiques. Les observations ont été conduites au sein d'établissements français et suédois. En France, cinq élèves de primaire (deux élèves non-voyants et trois élèves malvoyants) et dix collégiens (deux élèves non-voyants et huit élèves malvoyants) ont été observés au sein de leur établissement scolaire, ce qui représente un total de 45 heures (20 heures en primaire et 25 heures en collège). En Suède, un élève non voyant en primaire, un élève malvoyant en collège et un élève non-voyant en lycée ont été observés pour un total de 25 heures. Lors de ces observations, l'attention de l'observateur était focalisée sur les situations d'accès à des ressources pédagogiques (au sens large, p. ex. le discours de l'enseignant est considéré comme une ressource) et pour chaque situation, il était relevé comment l'élève accédait à la ressource (changement de modalité sensorielle, technologie d'assistance, adaptation, aide humaine, etc.) et les difficultés associées



lorsqu'elles étaient manifestes (p. ex. échecs d'accès). Chaque observation était suivie d'un court échange avec l'élève ou son enseignant spécialisé pour répondre à des questions spécifiques de l'observateur sur des éléments observés en classe. Afin de compléter les informations recueillies lors des observations, deux entretiens semi-directifs ont été réalisés auprès de deux étudiantes non voyantes. Elsa, 20 ans, étudiante en première année de sciences politiques et Astrid, 26 ans, étudiante en dernière année d'école d'ingénieur. Ces entretiens étaient centrés sur la perception qu'avaient les deux étudiantes de l'accessibilité des ressources pédagogiques dans le contexte d'inclusion scolaire. En raison du nombre limité d'entretiens réalisés, l'analyse est restée manuelle et a consisté à sélectionner dans les entretiens les éléments pertinents livrés par les interviewées à propos des façons d'accéder aux ressources pédagogiques et des difficultés rencontrées. L'analyse de l'ensemble de ces données a permis d'aboutir à une **description générale des modalités d'accès et d'utilisation par les élèves des ressources pédagogiques, numériques ou non mais aussi du procès d'adaptation des contenus pédagogiques.**

Le partenariat avec la Suède a constitué un **atout très original** à cette étape du projet car il a permis de bénéficier d'une expertise et d'un retour d'expériences dans le domaine de l'adaptation numérique de contenus pédagogiques. En France, jusqu'à présent, l'approche adoptée pour rendre les documents pédagogiques accessibles est l'édition adaptée qui consiste à proposer une adaptation « sur mesure », d'un extrait de contenu pédagogique (manuel ou autre), au coup par coup et à la demande. Pourtant, avec le Plan Numérique pour l'Education, l'approche de l'accessibilité numérique impulsée s'oriente davantage vers l'ambition d'une édition inclusive où l'élève dispose d'emblée d'un manuel scolaire numérique nativement accessible. Cette évolution risque d'introduire une véritable rupture dans les pratiques françaises. Or, de ce point de vue, la Suède a adopté un positionnement intermédiaire consistant à dériver de chaque manuel scolaire une version braille intégrale et une version numérique adaptée, l'élève présentant une déficience visuelle pouvant bénéficier des 2.

B. Etude 2 : Analyse des besoins et des usages des élèves déficients visuels en matière d'utilisation et d'interaction avec des manuels scolaires numériques

a) Rappel des objectifs

Cette étude visait à identifier et caractériser les besoins des élèves déficients visuels en matière d'utilisation et d'interaction avec les manuels scolaires numériques. Il s'agissait donc d'analyser si et comment les élèves non-voyants et malvoyants utilisent les manuels scolaires numériques, quelles difficultés ils rencontrent, leurs causes et leurs conséquences. Pour cette étude, nous avons cherché à surmonter plusieurs écueils : la difficulté d'accéder à la population des élèves non et mal voyants et le faible déploiement de l'usage des manuels scolaires numériques côté élève. Ce dernier point indique que la situation en 2019-2020 n'a pas beaucoup évolué par rapport à celle soulignée par le rapport du ministère de l'Education nationale (MEN, *Évaluation de la première année de l'expérimentation « Manuels numériques via l'ENT »*, 2011, p. 18) qui révélait d'une part que le manuel numérique est principalement utilisé en classe par les enseignants pour



une projection collective et d'autre part qu'il n'est quasiment pas utilisé par les élèves en dehors de la classe. Nous avons donc choisi de déployer un faisceau de techniques de recueil de données complémentaires afin d'analyser des éléments de convergence dans les résultats obtenus.

b) Méthodes et techniques mobilisées :

Nous avons réalisé **une inspection ergonomique d'un extrait d'un manuel scolaire numérique au regard de 2 référentiels : les critères de Bastien & Scapin (1993, cf. tableau 1) et les recommandations pour l'Accessibilité et Adaptabilité des Ressources Numériques pour l'École (A2RNE)**. A noter que cette dernière action n'était pas prévue au départ mais s'est révélée pertinente dans le cycle de vie du projet ; l'action a donné lieu à une collaboration avec un étudiant du master ECIT-FH (Ergonomie Cognitive, Innovation Technologique et Facteurs Humains) et a permis une évaluation plus fiable basée sur 2 jugements. Le manuel choisi pour faire l'objet de l'inspection ergonomique et des test utilisateurs à venir était un manuel de français de niveau 6^{ème} (*Terre des lettres, Nathan 2016*) dans lequel quatre pages représentatives du manuel ainsi que le sommaire ont été sélectionnés. Ce manuel a été sélectionné pour deux raisons : premièrement, le niveau 6^{ème} permet la réalisation des tests utilisateurs auprès d'élèves de la 6^{ème} à la 3^{ème} sans que la difficulté des exercices ne vienne nuire aux performances. Ensuite, le français est une matière qui présente un degré de difficulté intermédiaire quant à la quantité de contenus imagés. Le manuel scolaire numérique est consultable via une application de lecture, dans le cas du manuel étudié, l'application bibliomanuel. Il a été choisi d'évaluer à la fois le document du manuel mais également l'application qui y est associée en conformité avec ce que recommandent Bastien et Tricot (2008) et pour être au plus près de la situation réelle de référence. La compatibilité du manuel scolaire numérique a été testée avec le logiciel agrandisseur Zoomtext®, la loupe Windows® (outil embarqué), ainsi qu'avec la synthèse vocale NVDA®.

| Critères | Sous-critères |
|--------------------|---|
| Guidage | 1.1 Incitation 1.2 Groupement/Distinction entre items 1.2.1 Groupement/Distinction par la localisation 1.2.2 Groupement/Distinction par le format 1.3 Feedback immédiat 1.4 Lisibilité |
| Charge de travail | 2.1 Brièveté 2.1.1 Concision 2.1.2 Actions minimales 2.2 Densité informationnelle |
| Contrôle explicite | 3.1 Actions explicites 3.2 Contrôle utilisateur |
| Adaptabilité | 4.1 Flexibilité 4.2 Prise en compte de l'expérience utilisateur |



| | |
|---|---|
| Gestion des erreurs | 5.1 Protection contre les erreurs 5.2 Qualité des messages d'erreurs 5.3 Correction des erreurs |
| Homogénéité/cohérence | - |
| Signifiante des codes et déterminations | - |
| Compatibilité | - |

Tableau 1 : Les critères de Bastien & Scapin (1993)

Comme le souligne Nogier et al. (2013), l'inspection ergonomique « ne remplace pas un test utilisateur, mais lui permet d'être plus efficace car mieux préparé » (p. 233). Les résultats de l'inspection ergonomique ont contribué à générer des hypothèses pour l'élaboration du protocole des tests utilisateurs qui seront réalisés dans l'étude 2.

Une **enquête d'usage par questionnaire a été administrée en ligne sur les usages des manuels scolaires numériques par les élèves non et mal voyants au niveau national**. Cette enquête développée sous Qualtrics respectait les normes WCAG d'accessibilité et était en grande partie inspirée de l'enquête réalisée par Nikotopoulos (2017) sur les usages du manuel scolaire numérique chez les enseignants. Les questions abordaient quatre thématiques : l'équipement, le contexte d'utilisation, les fonctionnalités exploitées et les perceptions subjectives à l'égard du manuel scolaire numérique. Le lien vers le questionnaire a été envoyé à 144 élèves ayant un trouble de la fonction visuelle et à leur famille via des structures spécialisées de la région Rhône-Alpes. L'appel à participation a aussi été lancé sur les réseaux sociaux (Facebook et Twitter). Le questionnaire a été décliné sous deux versions selon le type de manuel numérique utilisé : le PDF du manuel scolaire papier ou le « vrai » manuel scolaire numérique. Seuls onze élèves malvoyants ont répondu à l'enquête en ligne, deux filles et 9 garçons (âge moyen = 15.5 ans). Si l'on considère seulement les 144 familles contactées directement, le taux de réponse avoisine les 17% dont seulement 7% de réponses concernant spécifiquement le manuel scolaire numérique. Le traitement des données était essentiellement descriptif.

En raison du faible taux de participation observé à l'enquête d'usage, **des entretiens ont été réalisés auprès d'élèves avec trouble de la fonction visuelle préalablement équipés de manuels scolaires numériques par nos soins**. L'objectif était double : augmenter la quantité de données recueillies et obtenir des données plus qualitatives. Cette seconde étude visant à caractériser les usages des manuels scolaires numériques par les élèves avec trouble de la fonction visuelle a consisté à : (1) équiper des collégiens malvoyants de la région toulousaine de versions numériques commercialisées d'un ou deux de leurs manuels scolaires, (2) les initier aux fonctionnalités de base du manuel avec l'aide de leur enseignant spécialisé, (3) recueillir après quelques semaines de mise à disposition des manuels scolaires numériques des données relatives à l'usage de ces versions numériques par les élèves. Plus précisément, il s'agissait de relever la fréquence et les contextes d'usage, les bénéfices et limites perçus, les problèmes d'accessibilité



rapportés et les perceptions d'utilisabilité. Quatorze collégiens et lycéens de la région toulousaine ont participé à l'étude (âge moyen = 13). En raison de l'impossibilité éthique d'accéder aux dossiers médicaux, aucune information concernant la nature des troubles visuels des élèves n'était disponible. Nous avons cependant vérifié qu'aucun ne présentait de difficultés d'apprentissages. Compte tenu de l'incompatibilité du manuel scolaire numérique avec les technologies d'assistances qu'utilisent les élèves non-voyants, aucun d'entre eux n'a pu prendre part à l'étude, ce qui constitue un résultat en soi. Pour chaque élève, la prise de contact a été réalisée par le biais du centre qui réalise son accompagnement. Les formulaires de consentement et une fiche de présentation de l'étude étaient transmis par l'enseignant spécialisé ou le chef de service. Tous les élèves étaient équipés d'un ordinateur portable fonctionnant sous Windows (Microsoft, Redmond, WA). Sur la base de la liste des manuels scolaires des élèves, un ou deux manuels scolaires numériques a été fourni. L'installation a été réalisée par la personne en charge de l'étude, l'enseignant spécialisé ou l'élève lui-même. Après une présentation des diverses fonctionnalités offertes par l'outil réalisée en présentiel, les élèves étaient invités à utiliser leur manuel scolaire numérique mais non contraints. La version PDF fournie par le centre de transcription restait disponible sur leur ordinateur portable. Si ce point a soulevé des questionnements quant à son impact potentiel sur l'utilisation du manuel scolaire numérique, après discussion avec les professionnels de terrain, il a été décidé de ne pas supprimer les versions PDF dont les élèves disposaient afin de ne pas générer d'anxiété. Seule une élève de l'étude avait eu auparavant accès à une version numérique de manuel scolaire (lors de son année de CE2). Après plusieurs semaines de mise à disposition des manuels scolaires numériques, un entretien semi-directif était réalisé auprès de chaque élève. Les questions posées lors de cet entretien étaient identiques à celles du questionnaire administré dans l'enquête d'usage. A l'issue de l'entretien, les élèves devaient également répondre à un questionnaire adapté du System Usability Scale (SUS) (cf. Tableau 2). Le caractère bref de la passation du SUS adapté a constitué un atout, compte tenu des contraintes temporelles importantes associées à la passation d'expériences auprès d'enfants en situation de handicap. Là aussi, le traitement des données était essentiellement descriptif et suivait la même logique que celle adoptée pour l'enquête en ligne.

| Original SUS (version française) | Version adaptée pour l'étude |
|---|--|
| 1. Je pense que je vais utiliser ce service fréquemment | Je pense que je vais utiliser ce manuel scolaire numérique fréquemment |
| 2. Je trouve ce service inutilement complexe | Je trouve ce manuel scolaire numérique inutilement complexe |
| 3. Je pense que ce service est facile à utiliser | Je pense que ce manuel scolaire numérique est facile à utiliser |
| 4. Je pense que j'aurai besoin de l'aide d'un technicien pour être capable d'utiliser ce service | Je pense que j'aurai besoin de l'aide d'un technicien pour être capable d'utiliser ce manuel scolaire numérique |
| 5. J'ai trouvé que les différentes fonctions de ce service ont été bien intégrées | J'ai trouvé que les différentes fonctions de ce manuel scolaire numérique ont été bien intégrées. |
| 6. Je pense qu'il y a trop d'incohérences dans ce service | Je pense qu'il y a trop d'incohérences dans ce manuel scolaire numérique |
| 7. J'imagine que la plupart des gens serait capable d'apprendre à utiliser ce service très rapidement | J'imagine que la plupart des élèves serait capable d'apprendre à utiliser ce manuel scolaire numérique très rapidement |
| 8. J'ai trouvé ce service très lourd à utiliser | J'ai trouvé ce manuel scolaire numérique très lourd à utiliser |
| 9. Je me sentais très en confiance en utilisant ce service | Je me sentais très en confiance en utilisant ce manuel scolaire numérique |
| 10. J'ai besoin d'apprendre beaucoup de choses avant de pouvoir utiliser ce service | J'ai besoin d'apprendre beaucoup de chose avant de pouvoir utiliser ce manuel scolaire numérique |

Tableau 2 : Adaptation du questionnaire SUS à l'utilisation du manuel scolaire numérique.

Enfin, nous avons réalisé des tests d'utilisabilité du manuel scolaire numérique auprès d'élèves voyants et malvoyants. L'objectif était de caractériser les difficultés spécifiques que rencontrent les élèves avec trouble de la fonction visuelle en comparaison aux élèves voyants, lorsqu'ils doivent utiliser le manuel scolaire numérique pour réaliser des tâches d'apprentissage selon un scénario d'utilisation défini, écologique et standardisé. La comparaison avec des élèves voyants était nécessaire pour distinguer des difficultés liées à l'ergonomie du document (c-à-d. son utilisabilité) de difficultés liées à son accessibilité. Des mesures comportementales et de perception subjectives ont été prélevées. Les résultats de l'inspection ergonomique ayant révélé l'inaccessibilité technique des manuels scolaires numériques pour les élèves non-voyants, cette population a été écartée de cette étude. Les participants étaient 46 collégiens de la région de Toulouse, de Lyon et de Bordeaux. Deux groupes ont été comparés : un groupe de 23 élèves voyants (47.8% de filles ; âge moyen = 13.6 ; étendue = 11-15) et un groupe de 20 élèves malvoyants (30% de filles ; âge moyen = 13.4 ; étendue = 11-15). Le recrutement des élèves non-voyants a été réalisé grâce aux enseignants spécialisés de l'IJA de Toulouse, de l'ASEI Lestrade de Ramonville, du CTRDV de Villeurbanne et de l'IRSA de Peyrelongue. Les enseignants spécialisés ont identifié les élèves susceptibles de participer à l'étude sur la base des critères suivants : présence d'un trouble visuel de type malvoyance, niveau



scolaire collègue, absence de troubles associés. L'accès aux dossiers médicaux des élèves malvoyants n'a pas été rendu possible pour des raisons de confidentialité. Cependant, tous étaient des élèves malvoyants au sens de la loi française et à ce titre, bénéficiaient d'un accompagnement par des centres spécialisés (p. ex. mise à disposition de supports pédagogiques adaptés). La présence d'une difficulté d'apprentissage diagnostiquée chez l'élève était capturée via une question en début de test. Les élèves voyants ont été recrutés via leurs enseignants et sur la base du volontariat. Après leur avoir transmis la fiche de présentation de l'expérimentation et obtenu leur accord et celui de leurs parents, des rendez-vous individuels étaient programmés pour chaque élève à l'école ou chez eux. Pour chaque participant, le consentement était recueilli auprès des parents via un formulaire papier et verbalement auprès des élèves avant chaque phase de test et en présence d'un autre adulte. Le protocole de recherche a été validé par le Comité d'éthique pour la recherche (CERNI) de l'Université Fédérale de Toulouse. Les participants devaient interagir avec un manuel scolaire numérique (Terre des lettres, Français, Nathan, niveau 6ème) pour réaliser quatre tâches : (1) une tâche d'appréhension de l'organisation générale, (2) une tâche de lecture-compréhension, (3) un exercice interactif et (4) une tâche de recherche d'informations. Chaque tâche nécessitait l'utilisation d'une ou plusieurs fonctionnalités du manuel scolaire numérique (p. ex. l'outil d'annotation, la recherche par numéro de page). Pour chaque tâche, des mesures de charge mentale, de performance, de temps, de demande d'aide ont été prélevés. Des indicateurs relatifs au sentiment d'auto-efficacité, à la désorientation, et à la satisfaction ont également été mesurés au global afin de mieux cerner les difficultés rencontrées et leurs conséquences sur la réalisation de tâches d'utilisation du manuel diverses et représentatives. Dans cette étude, le traitement des données consistait en des tests statistiques inférentiels permettant d'évaluer l'effet de la présence du trouble visuel sur les performances de réalisation des tâches, les temps de réalisation et les évaluations subjectives.

C. Etude 3 : Conception et développement de principes et solutions d'accessibilité

a) Rappel des objectifs

Dans cette étude, il s'agissait de proposer des principes de conception permettant de pallier certains des besoins identifiés dans les études précédentes puis de développer une (ou plusieurs) solutions d'accessibilité correspondant à l'implémentation des principes de conception. Nous avons choisi de nous centrer sur deux besoins identifiés comme critiques dans les difficultés rencontrées par les élèves : limiter les exigences de navigation augmentées par l'accès agrandi aux contenus du manuel, limiter les exigences de sélection de l'information pertinente dans la page pour réaliser la tâche d'apprentissage.

b) Méthode

Ici, les choix de conception ont été guidés d'une part par les résultats des études précédentes et les analyses co-construites avec les professionnels de terrain experts de



l'inclusion mais aussi de la conception de manuels scolaires numériques et d'autre part par les principes de conception multimédia issus des travaux dans le domaine de la psychologie cognitive des apprentissages qui sont déjà largement éprouvés auprès d'élèves voyants (Mayer, 2014).

D. Etude 4 : Evaluation empirique des solutions conçues

a) Rappel des objectifs

Cette étude vise à **évaluer l'efficacité des solutions proposées**, c'est-à-dire à tester si les solutions proposées apportent des plus-values en termes d'efficacité, d'efficience et de satisfaction.

b) Méthode et techniques

Nous avons réalisé une **étude expérimentale en laboratoire** impliquant plusieurs versions d'un même manuel scolaire numérique correspondant à l'implémentation des solutions conçues et à la version contrôle (n'impliquant aucune solution spécifique) auprès d'élèves malvoyants suivis dans les centres spécialisés (IJA, CIVAL ou autre centre spécialisé en France). Les participants étaient 27 collégiens de la région de Toulouse, de Lyon, d'Angers, de Strasbourg, de Marseille et Bordeaux (62.4% de garçon et 37.5% de fille ; âge moyen = 12.9 ; étendue = 10-15.8). Les élèves étaient répartis du CM1 (4.2%) à la seconde (8.3%) avec la répartition suivante : CM2 (20.8%), 6ème (8.3%), 5ème (20.8%), 4ème (12.5%) et 3ème (25%). Les données de trois participants ont dû être exclues de l'analyse suite à des problèmes techniques. Pour des raisons de confidentialité, il n'était pas possible d'accéder à leurs dossiers médicaux ; cependant, tous les élèves ont été contactés par le biais d'un centre spécialisé dans la déficience visuelle et bénéficient de contenus pédagogiques adaptés. Un questionnaire administré en début d'expérience a permis de vérifier qu'aucun des élèves de l'étude ne présente d'autres troubles pouvant avoir un impact sur les résultats (p. ex. dyslexie). Ce questionnaire a également permis d'obtenir des informations concernant les types d'adaptation préconisées (p. ex. taille recommandée). Aussi, tous les élèves ayant participé disposaient d'un ordinateur dans le cadre des mesures d'accompagnements à la scolarisation. Pour chaque participant, le consentement était recueilli auprès des parents via un formulaire papier et verbalement auprès des élèves avant chaque phase de test et en présence d'un autre adulte (parent ou enseignant spécialisé). Le protocole de recherche a été approuvé par le Comité d'éthique pour la recherche. **Trois tâches de lecture-compréhension ont été sélectionnées dans le manuel.** Elles consistaient toutes à lire un poème et répondre à des questions en annotant dans le manuel. Pour chaque tâche, l'élève doit se positionner sur une échelle de 1 (pas du tout) à 5 (tout à fait) concernant la charge mentale, la facilité pour accéder aux questions, lire le poème et passer du poème aux questions. Chaque tâche était présentée selon une des 3 versions suivantes

- **Une version contrôle** correspondant au format proposé dans le manuel numérique existant actuellement et disponible dans le commerce. Cette version est caractérisée

par une présentation de l'information sur une **double page**. Il s'agit d'un **format séparé** au sens où les questions et le poème, bien que présentés sur la même double page, sont éloignés physiquement et la double page contient des **éléments non pertinents** pour la tâche de lecture-compréhension (p. ex. la page 17 renvoie à un autre poème et ses questions associées qui n'ont aucun rapport avec l'exercice de la page 16).

- **Une version intégrative** dans laquelle le principe qui régit l'organisation de l'information dans le manuel n'est plus l'espace de la page mais la tâche à réaliser, ce qui permet de limiter l'effet de partage attentionnel par un rapprochement physique des sources d'informations ; de plus, les recommandations relatives à la lisibilité des informations pour les élèves déficients visuelles ont été intégrées, à savoir 1) une typographie et codes couleurs optimisés. Dans le cas présent, la police LUCIOLE, développée spécifiquement pour les élèves avec un trouble de la fonction visuelle par le CTRDV de Villeurbanne, a été utilisée pour tous les éléments textuels. Les codes couleurs du document original sont respectés mais les contrastes ont été augmentés ; 2) la compatibilité technique avec les logiciels d'assistance. L'élève pourrait, s'il le souhaite, utiliser une synthèse vocale, un logiciel d'agrandissement ou une plage braille.
- **Une version intégrative multimodale** dans laquelle les différentes sources d'information à traiter pour réaliser une tâche sont réparties sur deux modalités sensorielles (auditive-visuelle pour les élèves malvoyants et auditive-tactile pour les élèves non-voyants). Le texte correspondant au poème à lire est présenté visuellement, alors que la question n'est disponible qu'en version audio. Ce choix a été fait car il correspond à des situations observées lors de l'analyse de l'existant au cours desquelles l'AESH oralisait pour l'élève seulement la question.

À l'issue des trois tâches, l'élève devait répondre ensuite aux questions suivantes :

- Classe les versions de la plus facile à utiliser à la moins facile ;
- Imagine que tu as la possibilité d'avoir à disposition ces trois versions. Classe-les de celle que tu serais le plus susceptible d'utiliser à la moins susceptible d'utiliser en classe ? Et à la maison ?
- Quelle version te satisfait le plus ?
- Classe les poèmes du plus difficile au plus simple (le vent, le temps, le jardin) :
- Pour chaque version dis-moi une chose que tu as aimée ? et une que tu n'as pas aimée ?

L'expérimentation comprenait huit phases : une phase de pré-questionnaire, trois phases de familiarisation à chaque format de présentation, trois phases de test correspondant aux trois formats et une phase de post-questionnaire (Figure 1).

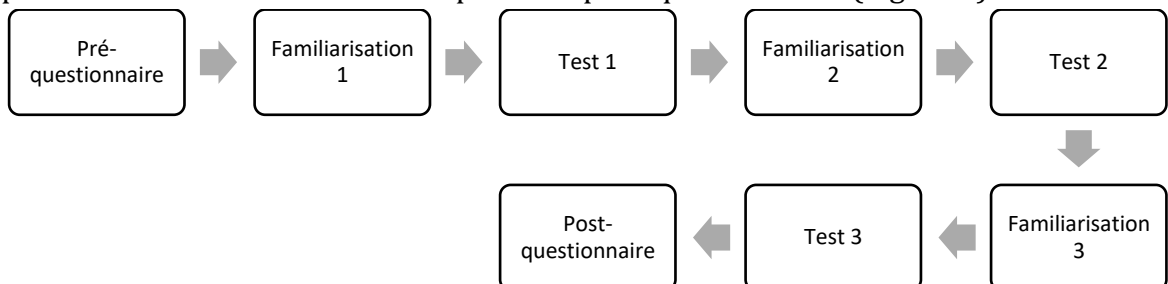


Figure 1 : Schéma présentant les différentes étapes du test de la solution.



Dans cette étude, le traitement des données consistait en des **tests statistiques inférentiels** permettant d'évaluer l'effet des différentes versions du manuel sur les performances de réalisation des tâches, les temps de réalisation et les évaluations subjectives des élèves malvoyants.

VI. Résultats et discussions

A. Etude 1 : Etat des lieux relatif à l'accessibilité des contenus pédagogiques pour les élèves présentant une déficience visuelle

a) Description du procès d'adaptation des contenus pédagogiques en France

Si, pendant longtemps, les personnes « empêchées de lire » se heurtaient à des problèmes juridiques pour accéder aux ouvrages, des mesures ont été prises afin de supprimer ces difficultés. Au niveau européen, **le traité de Marrakech** (2013) autorise les différentes associations et organisations à produire des formats accessibles sans l'autorisation préalable des détenteurs du copyright (éditeur ou auteur). En France, **la loi DAVDSI du 1^{er} août 2006** et **le décret du 19 décembre 2008** permettent aux associations habilitées d'adapter « librement » les documents et de disposer des fichiers sources fournis par les éditeurs. Plus récemment, **la loi LCAP** (n° 2016-925 du 7 juillet 2016 relative à la liberté de la création, à l'architecture et au patrimoine) est venue renforcer et préciser les droits en matière d'accès aux contenus et d'adaptation.

En France, jusqu'à présent, l'approche adoptée pour rendre les documents pédagogiques accessibles est de proposer **une adaptation « sur mesure » par des services dédiés**, c'est-à-dire prenant en compte les besoins spécifiques de l'élève, au coup par coup et à la demande. La répartition des structures sur le territoire est hétérogène et renvoie pour la plupart à des associations. Si chaque structure a son fonctionnement propre, il est tout de même possible de dégager les grandes lignes du processus d'adaptation des contenus pédagogiques en France.

Prenons le cas de l'adaptation d'un manuel scolaire à destination d'un élève non-voyant. L'adaptation d'un manuel scolaire (et plus généralement de l'ensemble des contenus pédagogiques), en France, pour un élève non-voyant comporte généralement cinq étapes : (1) la demande d'adaptation, (2) la récupération du document, (3) l'adaptation technique et pédagogique, (4) la production et, (5) la livraison.

La demande (1) reçue par le service d'adaptation émane généralement de l'enseignant spécialisé référent de l'élève qui a préalablement reçu cette même demande de l'enseignant « ordinaire » de l'élève, de l'AESH ou de l'élève lui-même. La demande est **spécifique**, au sens où elle concerne un élève en particulier. La demande formulée au service d'adaptation renvoie généralement à quelques pages, chapitres ou exercices précis et non à l'intégralité du manuel scolaire. Une fois la demande accusée, le service d'adaptation va ensuite **récupérer (2)** le manuel scolaire au sein de la base Platon, généralement en début d'année scolaire. Cette base de données gérée par la Bibliothèque Nationale de France sert d'intermédiaire entre les éditeurs et les professionnels de l'adaptation. Lorsqu'un ouvrage est mis sur le marché, les éditeurs français ont obligation de déposer les fichiers sources de l'ouvrage au sein de cette base afin qu'ils puissent être récupérés par les organismes en droit d'adapter les contenus pour les personnes empêchées de lire. Une fois le corpus des contenus à adapter identifié, un important



travail **d'adaptation (3)** doit être réalisé par les services dédiés. Ces adaptations concernent aussi bien les aspects techniques (p. ex. rendre le document compatible avec le bloc-notes braille), que pédagogiques (p. ex. transformer un contenu graphique en dessin en relief (Bris, 2016)). Une phase de **production (4)** est ensuite nécessaire pour fournir les documents en braille papier et images thermogonflées. Une fois le document adapté, il est généralement **transmis (5)** à l'enseignant spécialisé qui sera chargé de le donner à l'élève lors de leur prochain rendez-vous de suivi. Dans certains cas, il peut être envoyé par voie postale.

Les délais d'adaptation peuvent s'étendre de **quelques jours à quelques semaines** en fonction de la disponibilité mais aussi de la complexité du contenu à adapter. Dans de rares cas, ces fichiers peuvent être fournis en version électronique compatibles avec le bloc note de l'élève. La Suède adopte une approche différente de la France concernant l'adaptation des manuels scolaires numériques (voir Castillan et al., 2019 pour une présentation détaillée. Ce pays, comme beaucoup d'autres pays Européens, a fait le choix **d'une adaptation des manuels scolaires en version intégrale pour l'ensemble des élèves déficients visuels**. En bout de chaîne, l'élève peut disposer de l'adaptation sous format numérique ou papier (ou bien les deux versions).

b) Comparaison des deux approches en matière d'adaptation des contenus pédagogiques en France et en Suède

En fonction de la nature de son trouble visuel et du pays dans lequel il vit, l'élève atteint d'un trouble de la fonction visuelle ne disposera pas des mêmes adaptations pédagogiques -cf. Tableau 3). Si la France a fait le choix d'une adaptation au cas par cas et en fonction du besoin spécifique de chaque élève, **la Suède a opté pour des versions numériques adaptées aux besoins généraux des élèves déficients visuels**. Deux principaux constats sont à noter : d'une part, les élèves non-voyants suédois ont à disposition **les versions intégrales de leurs manuels scolaires numériques**, alors que les **élèves français n'ont que des versions parcellaires**. D'autre part, les élèves suédois disposent des **versions numériques adaptées** (accessibles techniquement et pédagogiquement) de leurs manuels scolaires numériques, alors que les élèves français ont des **versions PDF qui n'ont subi aucune adaptation**. Il s'agit en réalité d'une photo intégrale du manuel papier.

| | Élève malvoyant | | Élève non voyant | |
|--------------------------------------|-----------------|-------|------------------|-------|
| | France | Suède | France | Suède |
| Version papier agrandie -parcellaire | X | | | |
| Version papier Braille - parcellaire | | | X | |
| Version papier Braille - intégrale | | | | X |
| Version numérique adaptée intégrale | | X | | X |
| Version PDF intégrale | X | | | |
| Version audio intégrale | | X | | X |
| Dessin en relief | | | X | X |

Note. X = présent.

Tableau 3 : Tableau comparatif des adaptations des manuels scolaires en France et Suède en fonction de la nature du trouble.

c) Caractérisation des modalités et difficultés d'accès aux ressources pédagogiques pour les élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle

(1) Les types d'accès aux contenus pédagogiques

Sur la base des observations réalisées et des entretiens menés, ont été repérés cinq types principaux d'accès des élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle aux ressources pédagogiques.

- **Un accès direct** : l'élève accède directement au contenu pédagogique. C'est par exemple le cas lorsque l'enseignant explique oralement une notion à la classe. L'élève a alors accès au même contenu verbal que ses camarades. Si cette situation peut laisser à penser de prime abord que dans ce cas, l'élève non ou malvoyant a accès aux mêmes contenus que ses camarades voyants. Il convient de noter toutefois qu'une partie de la dimension paraverbale est perdue, notamment les expressions faciales et les gestes dont on sait qu'ils peuvent participer à l'étayage pédagogique (McNiel, 1992). De plus, l'impossibilité de déterminer à quoi réfèrent des expressions déictiques désignant des éléments visuels (« ici », « dans cette portion du graphique, on voit bien que ... ») peut porter atteinte à la compréhension des informations et plus largement à la réalisation de tâches d'apprentissages.
- **Un accès via les outils d'assistance** : l'élève accède au même contenu pédagogique que ses camarades via l'utilisation d'un outil d'assistance (lecteur d'écran ou loupe) et le contenu est alors transposé dans une autre modalité sensorielle (tactile et/ou auditive). C'est le cas, par exemple, lorsque l'élève lit auditivement un ouvrage à l'aide d'une application dédiée de type Legimus (Suède) ou Audible (France). Un prérequis à l'accessibilité est que le document soit nativement accessible, c'est-à-dire compatible au plan technique avec les technologies d'assistance utilisées.
- **Un accès adapté** : l'élève accède à une version adaptée du contenu pédagogique. Le document initial a été transformé par un processus d'adaptation. C'est le cas, par exemple, lorsque l'élève dispose de la version braille d'un document. Le contenu a été préalablement transcrit en braille par un service de transcription et éventuellement adapté pour être rendu accessible pour l'élève. Cela suppose en amont une anticipation des ressources pédagogiques à adapter (car l'adaptation suppose un délai) et souvent la ressource initiale n'est pas totalement adaptée : des contenus spécifiques sont sélectionnés par l'enseignant et/ou l'enseignant spécialisé et/ou la personne en charge de la transcription. Ainsi, si la ressource pédagogique est adaptée, l'adaptation est bien souvent limitée à certains types de contenus jugés prioritaires au sein de la ressource pédagogique. Notons qu'à ce sujet, Sorin (2015) a également observé que le processus de sélection des contenus à adapter pouvait parfois obéir à des logiques de faisabilité de l'adaptation et pas seulement de priorité eu égard aux objectifs pédagogiques poursuivis ou aux besoins des élèves.
- **Un accès adapté via un outil d'assistance** : l'élève accède à une version adaptée du contenu pédagogique via un outil d'assistance. C'est le cas par exemple lorsque le contenu pédagogique est adapté en version numérique (p. ex. une page de manuel



scolaire d'histoire dont l'adaptateur-transcripteur aura supprimé des contenus pour réaliser une adaptation numérique). Le contenu est alors accessible via un ordinateur et un logiciel de lecture spécifique. Cela suppose que l'élève soit équipé d'un ordinateur et sache l'utiliser, ce qui n'est pas toujours le cas (Douglas et al., 2009).

- **Un accès via un tiers** : l'élève dispose du contenu grâce à la verbalisation par un tiers. Généralement, cette tâche est réalisée par l'AESH ou l'enseignant, mais parfois cela peut être fait par ses camarades.

(2) Les difficultés d'accès et de traitement des contenu pédagogiques

A partir des observations et des données verbales recueillies, nous avons repéré deux catégories de difficultés rencontrées par les élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle pour traiter et répondre aux contenus pédagogiques (Ketterlin-Geller & Tindal, 2007).

1. L'élève ne peut accéder à la ressource.

Dans le premier cas, la ressource existe mais elle n'a pas fait l'objet d'une adaptation en amont ou ne fait pas l'objet d'une adaptation en classe pour diverses raisons (p. ex. absence de l'AESH). Par exemple, lors d'un cours de langue basé sur le visionnage d'une vidéo en allemand comportant des sous-titres en français, l'élève non voyant ne peut pas, contrairement

à ses camarades, s'appuyer sur les indices du contexte visuel des scènes du film, ni sur les sous-titres en français pour améliorer sa compréhension des dialogues en allemand. Dans le second cas, l'adaptation a été réalisée mais l'élève ne peut y accéder pour des raisons techniques : des applications impossibles à ouvrir sur le bloc-notes braille, des documents que la synthèse vocale ne peut pas lire ou des formats incompatibles avec les logiciels des élèves. Ceci est encore plus fréquent lorsque l'élève utilise un bloc-notes braille. Bien que la conversion des fichiers dans un format compatible soit possible et rapide, les élèves ou professeurs oublient régulièrement de réaliser cette étape, ce qui rend la lecture des supports impossible. Le manque de robustesse des équipements informatiques est également une raison.

2. L'élève peut accéder à la ressource mais a des difficultés de traitement de l'information inhérente au changement de modalité sensorielle.

Le fait de pouvoir accéder techniquement au contenu ne garantit pas l'accessibilité effective, c'est-à-dire la possibilité pour l'élève de traiter efficacement les informations dans le document pour réaliser une tâche d'apprentissage (résoudre un problème, rechercher des informations, etc.) car le changement de modalité sensorielle entraîne des spécificités d'accès à l'information qui impactent le traitement cognitif des informations.

Un **premier problème** provient du fait que parfois la transposition de l'information dans une autre modalité sensorielle **dénature purement et simplement la tâche d'apprentissage**. Par exemple, il est courant qu'en histoire, les élèves aient à commenter des représentations graphiques (p. ex. tableaux, affiches, etc.). Si une description de l'image est fournie, elle ne permet généralement pas à l'élève de réaliser la tâche puisque soit la description ne comporte pas assez d'informations pour réaliser la tâche, soit au contraire les éléments de réponse sont déjà formulés dans la description. Cet exemple

illustre bien le fait que des recommandations appropriées pour l'accessibilité web (fournir une alternative textuelle à une image) ne le sont pas nécessairement pour l'accessibilité pédagogique.

Un autre problème, déjà évoqué dans la partie revue de la littérature, tient aux exigences cognitives associées au traitement de l'information visuelle transposée dans une autre modalité sensorielle. La vitesse de décodage du braille et de l'écoute de la synthèse vocale, même chez des personnes très entraînées, est plus lente que la lecture visuelle (Hertrich et al., 2009). Aussi, lors des observations, il a été constaté à plusieurs reprises que les élèves avec un trouble de la fonction visuelle pouvaient passer les temps de récréation dans la classe ou bien rester une heure supplémentaire en fin de journée avec leur assistante de vie scolaire afin de terminer leurs exercices.

(3) Les conséquences des difficultés d'accès aux contenus pédagogiques

Plusieurs types de problèmes ont pu être repérés.

Les problèmes d'atteinte du but : l'impossibilité pour les élèves atteints de troubles de la fonction visuelle d'accéder à certaines ressources les empêche de réaliser certaines tâches d'apprentissage. Ainsi, il a été observé qu'un élève n'a pas pu réaliser un exercice de mathématique avec ses camarades car cet exercice était disponible sur une application inaccessible au regard de ses besoins en termes d'affichage (p. ex. impossible d'agrandir ou d'accéder à l'information de façon auditive).

Problèmes d'efficience : les vitesses de décodage inhérentes aux modalités tactile et auditive et les difficultés de traitement des ressources peuvent entraîner des temps de réalisation des tâches très allongés, très souvent supérieurs aux temps impartis en classe ordinaire. Or, les enseignants n'intègrent pas nécessairement cette contrainte dans l'adaptation de leurs pratiques, considérant que les équipements et adaptations spécifiques permettent aux élèves de travailler comme les autres. Au vu des emplois du temps très chargés de ces élèves, un compromis est souvent cherché en sélectionnant uniquement les exercices jugés les plus pertinents compte tenu de l'objectif pédagogique, sans que l'on sache si cette réduction défavorise ou non l'élève dans ses acquisitions.

Ces problèmes semblent avoir des **conséquences au plan émotionnel et social** en situation d'inclusion. Nos observations ont montré que parfois les interactions avec les enseignants sont rendues complexes et le travail collaboratif avec les autres élèves est difficile.

Certains élèves présentant une déficience visuelle refusent même les travaux de groupe car ils craignent d'être une gêne pour leurs camarades dans la réalisation de l'exercice. **L'utilisation de supports adaptés ou de technologies d'assistance est parfois vécue comme stigmatisante, vectrice d'exclusion** (Brulé et al., 2015). Certains élèves présentant une déficience visuelle cherchent à utiliser **des outils les plus discrets possibles** (p. ex. les écouteurs sans fil) pour éviter d'être trop distincts.

Si les élèves utilisent des stratégies de compensation, par exemple des capacités de focus attentionnel au niveau auditif très soutenues (Cattaneo & Vecchi, 2011), faire face à ces exigences sur le long terme s'avère très coûteux et les élèves mais aussi les enseignants spécialisés évoquent souvent un **état de fatigue important**.

A retenir :

- L'utilisation de ressources pédagogiques numériques en classe et à la maison reste encore limitée en France ; la plus fréquemment observée renvoie à l'utilisation de ressources pédagogiques (par. ex. issues du manuel scolaire numérique) projetées en classe.

- En France, l'accès aux ressources pédagogiques par les élèves non-voyants repose pour l'essentiel sur des adaptations papiers en braille. Ces adaptations sont souvent parcellaires (p. ex. une sélection d'exercice au sein d'un chapitre). Pour les élèves malvoyants, un PDF du manuel scolaire est mis à disposition mais il n'offre pas toutes les fonctionnalités du numérique (p. ex. la recherche par mot clef) et ne fait généralement pas l'objet d'adaptations particulières.

- À l'inverse, la Suède réalise des adaptations numériques et papiers pour l'ensemble des élèves ayant un trouble de la fonction visuelle, laissant ainsi le choix du support à l'élève.

- Les observations réalisées en France révèlent que les élèves déficients visuels subissent parfois, en dépit des adaptations proposées, des barrières d'accès à l'information pédagogique : l'information peut tout simplement ne pas être accédée du tout ou partiellement. Certaines tâches d'apprentissage ne peuvent pas être réalisées. D'autres fois, l'information est accédée mais le changement de modalité sensorielle entraîne des difficultés spécifiques de traitement de l'information (lenteur, charge mentale importante notamment).

- Ces barrières et difficultés ont des conséquences importantes au niveau scolaire (difficultés à atteindre le but de la tâche d'apprentissage, efficacité diminuée), un retentissement aux niveaux émotionnel et social et résultent en une fatigue chronique.

B. Etude 2 : Analyse des besoins et des usages des élèves présentant une déficience visuelle en matière d'utilisation et d'interaction avec des manuels scolaires numériques

a) Les résultats de l'inspection ergonomique

L'évaluation conduite a mis en évidence le manque d'accessibilité technique des manuels scolaires numériques, particulièrement pour des élèves utilisant des lecteurs d'écran. Le non-respect de plusieurs recommandations issues des A2RNE sont à l'origine de cette incompatibilité entre le manuel scolaire numérique et les outils d'assistance. Il semble que la gestion des droits et des codes empêche le bon fonctionnement des outils d'assistance. Aussi, l'absence de description textuelle des images et d'identification des objets constitue des points bloquant pour le bon fonctionnement des outils d'assistances. Par exemple, la synthèse vocale ne peut pas accéder aux images et aux caractéristiques

des éléments qui permettraient une navigation optimisée. Le non-respect de ce critère a pour conséquence l'exclusion de l'ensemble des personnes pour lesquelles l'usage d'un outil d'assistance est obligatoire. Par exemple, les élèves utilisant une synthèse vocale et/ou une plage braille ne peuvent accéder au manuel scolaire numérique. Par ailleurs, cela pourrait conduire certains élèves malvoyants à tenter d'accéder au contenu en forçant sur la vue (p. ex. zoom ne fonctionnant pas sur l'ensemble du manuel ou insuffisant pour certains élèves), ce qui pourrait avoir pour conséquence une augmentation de la charge mentale et une plus grande fatigabilité.

L'évaluation par inspection ergonomique a également mis en évidence des problèmes d'utilisabilité, tels que des contrastes de couleur insuffisants et une structuration du manuel trop complexe et trop richement signalée. Ces résultats convergent avec les conclusions de Malti (2018). Ses résultats mettent notamment en évidence une présence trop importante de signaux. Ainsi, 14 codes différents sont comptabilisés sur une page et 76 sur un chapitre. En accord avec nos résultats, Malti (2018) observe le non-respect du principe de cohérence/homogénéité.

En revanche, concernant le **principe de redondance ou de charge mentale** (Bastien et Scapin, 1993), les résultats de notre inspection divergent des siens. En effet, Malti (2018) observe que celui-ci est respecté, alors que ce n'est pas le cas dans la présente inspection. Une raison à cela semble être relative au périmètre de l'évaluation. Si nous avons considéré le manuel ainsi que l'application Bibliomanuel, Malti (2018) a, semble-t-il, considéré seulement les éléments du livre et exclut la couche relative à l'application de lecture. Or, nous considérons que l'application de lecture fait partie intégrante du manuel scolaire numérique puisque c'est via celle-ci qu'il est possible d'utiliser les diverses fonctionnalités et ressources.

Un autre résultat important concerne le **manque de flexibilité des modalités d'interaction avec le manuel scolaire numérique**. Les manipulations se réalisent via la souris et il est impossible d'utiliser les raccourcis clavier. Le risque d'erreur s'en voit accru et la difficulté à corriger les erreurs pourrait, là encore, augmenter la charge mentale.

b) Les résultats de l'enquête d'usage et des retours d'expérience d'élèves déficients visuels équipés de manuels scolaires numériques

Il s'agissait ici d'analyser plus finement les besoins de ces élèves lorsqu'ils doivent interagir avec des ressources pédagogiques numériques, plus particulièrement, les manuels scolaires numériques. L'objectif ici est donc d'évaluer **l'utilisabilité, l'acceptabilité et l'accessibilité** des manuels scolaires numériques auprès d'élèves présentant un trouble de la fonction visuelle. Ces dimensions interdépendantes sont importantes à considérer pour décrire, comprendre et prédire les usages (Sperandio, 2007). De plus, il est important d'étudier l'utilisabilité et l'accessibilité des manuels scolaires numériques afin de distinguer ce qui relève de problème d'ergonomie générale du manuel scolaire numérique de ce qui est consécutif aux spécificités de leur utilisation par un public avec trouble de la fonction visuelle.

Un premier constat renvoie à une utilisation encore limitée par les élèves présentant une déficience visuelle des ressources numériques en général et du manuel scolaire



numérique en particulier. Cette faible utilisation peut s'expliquer par le fait qu'actuellement les structures qui accompagnent les élèves ne fournissent généralement pas ces manuels. Toutefois, même lorsqu'on équipe les élèves de manuels scolaires numériques, l'utilisation reste faible ; ainsi, seuls six des quatorze collégiens qui ont été équipés ont utilisé les manuels numériques, soit 43%. Après avoir recensé l'ensemble des raisons évoquées par les élèves, celles-ci ont été catégorisées selon leur contenu. Au global, les raisons invoquées par les élèves pour expliquer la non utilisation peuvent être liées au manuel numérique lui-même (p. ex. complexité apparente, manque de formation et d'assistance, impossibilité de regrouper tous les manuels dans une seule application, raccourcis clavier non disponibles et incompatibilité avec les technologies d'assistance), à l'élève lui-même (p. ex. peur du changement, peur de problèmes techniques, oubli), et/ou à son environnement (p. ex. un enseignant qui n'utilise pas le manuel ou une panne de l'ordinateur portable).

La complexité d'usage est identifiée comme principale cause de non-utilisation et mentionnée à cinq reprises (p. ex. « sur un PDF c'est simple - là y a des boutons partout, y'en a trop. », « la version PDF est beaucoup beaucoup beaucoup beaucoup plus simple d'usage. C'est trop complexe. »). Il est intéressant de constater qu'il s'agit parfois d'une complexité générée par les choix esthétiques/commerciaux. Par exemple, un élève a déploré : « y a trop de boutons partout » mais lors de l'entretien, il est apparu que les boutons en question étaient en fait des logos sans fonctionnalité associée.

La deuxième catégorie de raisons la plus citée par les élèves (n = 4) correspond **aux habitudes des élèves** (p. ex. « j'y ai pas pensé. Je ne suis pas passé devant », « Je faisais à mes habitudes, j'ai pas vu l'application »). **Le manque de formation (cité deux fois) et les difficultés techniques (cité deux fois) sont aussi identifiés comme freins aux usages.** Par exemple, un élève en terminale a stoppé l'utilisation du manuel scolaire numérique à l'issue d'un bug lors d'un téléchargement. Anxieux à l'idée que l'ordinateur ne fonctionne plus, il a refusé de réitérer l'expérience.

Pour finir, l'absence de plateforme partagée entre les éditeurs semble être un frein important dans le déploiement des manuels scolaires numériques (p. ex. « il est pas dans le dossier avec les autres cours. S'il n'est pas rangé à côté des livres que j'utilise je ne vais pas m'en servir »). La suite des analyses se centrent sur les élèves qui ont utilisé le manuel scolaire numérique fourni.

Lorsqu'on analyse les usages des manuels scolaires numériques par les élèves malvoyants, on constate qu'ils utilisent essentiellement **l'ordinateur** pour interagir avec les manuels scolaires numériques et la moitié d'entre eux y accèdent grâce à une **technologie d'assistance permettant le grossissement de la page**. Plus d'un tiers des élèves malvoyants déclarent ne pas utiliser de logiciel d'assistance, car ils craignent les problèmes techniques. Ce résultat fait écho à des observations faites dans le champ de l'accessibilité web : la première source de frustrations d'adultes aveugles utilisant des lecteurs d'écran renvoie aux problèmes techniques (Lazar et al., 2007). Si le manuel scolaire numérique contient plusieurs ressources et fonctionnalités, il semble que **peu d'entre elles soient utilisées par les élèves malvoyants**, sauf celles qui leur permettent



de contourner ou compenser les limitations d'accès qu'ils subissent ; ainsi, les élèves **utilisent beaucoup le zoom intégré ou la recherche par numéro de page.**

Au plan des **perceptions d'utilisabilité et des intentions d'usage**, la majorité des élèves malvoyants jugent le manuel scolaire numérique **facile à utiliser** et sont positifs sur leur utilisation des manuels numériques à l'avenir. Ces résultats semblent paradoxaux : si le manuel scolaire numérique est plutôt perçu positivement par les élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle et les intentions d'usage élevées, l'utilisation effective reste faible et les types d'utilisation restent proches de ceux observés pour le manuel papier. Les fonctionnalités spécifiques au manuel numérique, principal argument de vente de ces dispositifs, sont finalement sous-exploitées probablement par manque de connaissances de leur utilité et de comment les utiliser. Les fichiers audios en sont probablement l'exemple le plus illustratif. La majorité des élèves les jugent utiles et intéressants sans pour autant les utiliser. Pour certains élèves, le manque de formation constitue sans doute une limite dans le plein usage des possibilités qu'offre l'outil. Pour d'autres élèves, ces fonctionnalités, certes attrayantes, sont peut-être tout simplement inutiles compte tenu des tâches à réaliser. Enfin, le recours à certaines fonctionnalités peut constituer un écart à la « norme » qui peut être perçu comme stigmatisant (Kinoe et al., 2013). De ce point de vue, nos résultats indiquent que **le passage au manuel numérique doit être accompagné si l'on souhaite que les élèves tirent part des possibilités spécifiques qui y sont associées.**

A noter que ces résultats sont compatibles avec des phénomènes plus généraux observés par les professionnels : il existe un écart entre l'ensemble des équipements et technologies mis à disposition des élèves et de leur famille et l'usage réel qui en est fait. Cette observation de terrain rejoint des phénomènes bien connus en psychologie sociale de décalage entre les intentions et les comportements. Si Sheeran en 2002 dans une méta-analyse montre qu'il y a généralement une corrélation entre les intentions et les comportements, cette corrélation s'affaiblit lorsqu'il s'agit de changer ses comportements suite à un changement d'intention (Sheeran & Webb, 2016). Il semble qu'il soit plus difficile de changer un comportement suite à un changement d'intention si le changement de comportement est perçu comme complexe ou si le changement d'intention a pour origine la pression sociale plutôt que la croyance personnelle. Dans notre cas, si les élèves manifestent de l'enthousiasme pour les technologies numériques surtout si elles sont grand public, l'anxiété générée par les problèmes de compatibilité technique et de bugs les incitent à ne pas utiliser ces technologies ou équipements, surtout si des enjeux forts sont associés à la réussite scolaire (brevet, baccalauréat ; Brulé et al., 2015). C'est donc les risques perçus d'échecs ou de difficultés supplémentaires associés à l'utilisation du manuel scolaire numérique qui pourrait expliquer ce décalage. En effet, différents facteurs sont identifiés comme déterminants pour l'usage réel : la puissance et la stabilité des outils informatiques, leur délai de livraison durant l'année scolaire et la présence d'un relais/accompagnement par les familles. Aussi, le faible score d'utilisabilité pourrait impacter négativement les réels usages du manuels scolaires numériques par les élèves avec un trouble de la fonction visuelle (Lee et al., 2003).



c) Les résultats du test utilisateur comparant l'utilisation d'un manuel scolaire numérique pour réaliser des tâches d'apprentissage chez des élèves voyants et mal voyants

Le test utilisateur avait pour objectif d'identifier les problèmes d'utilisabilité et d'accessibilité du manuel scolaire numérique. Deux groupes ont pris part à l'étude : un groupe de collégiens malvoyants et un groupe de collégiens voyants. Les participants devaient interagir avec un manuel scolaire numérique (Terre des lettres, Français, Nathan, niveau 6ème) pour réaliser quatre tâches : (1) une tâche d'appréhension de l'organisation générale, (2) une tâche de lecture-compréhension, (3) un exercice interactif et (4) une tâche de recherche d'informations. Chaque tâche nécessitait l'utilisation d'une ou plusieurs fonctionnalités du manuel scolaire numérique (p. ex. l'outil d'annotation, la recherche par numéro de page). Pour chaque tâche, des mesures de charge mentale, de performance, de temps, de demande d'aide ont été prélevés. Des indicateurs relatifs au SAE, à la désorientation, et à la satisfaction ont également été mesurés au global afin de mieux cerner les difficultés rencontrées et leurs conséquences sur la réalisation de tâches d'utilisation du manuel diverses et représentatives.

Un premier résultat concerne **l'impossibilité d'atteindre le but pour 20% des élèves malvoyants à la tâche de lecture-compréhension**. L'atteinte de but est empêchée pour une partie non négligeable du groupe, alors que la totalité des élèves voyants est parvenu à atteindre leur but. De plus, lorsqu'ils parviennent à atteindre leur but, **les élèves malvoyants présentent des performances inférieures et un temps de réalisation plus important que leurs camarades voyants**. L'explication des difficultés spécifiques rencontrées par les élèves malvoyants nécessite de s'appuyer sur une analyse cognitive de la tâche de lecture-compréhension. Au plan descriptif, cette tâche nécessite de :

- Lire et comprendre le poème,
- Lire et comprendre les questions,
- Choisir et utiliser une fonctionnalité d'annotation,
- Faire des allers-retours entre le poème, les questions et l'espace de réponse généré,
- Gérer l'espace de réponse (sa taille, son emplacement) pour éviter les superpositions,
- Elaborer sa réponse,
- Rédiger sa réponse,
- Vérifier sa réponse (optionnel).

Si ces exigences sont identiques pour les deux groupes, l'accès spécifique lié à l'utilisation du zoom chez les élèves malvoyants a pour **conséquence d'éloigner spatialement le texte et les questions**. Cet éloignement, qui s'apparente dans la littérature à un format dit « séparé », impose aux élèves malvoyants des opérations de navigation pour opérer les allers-retours entre les deux sources d'informations et permettre ce que Jamet & Erhel (2006) appellent, dans le contexte d'un apprentissage texte-images la co-référenciation. La co-référenciation renvoie à la mise en relation de deux sources d'informations qui doivent être intégrées mentalement. Ce processus,

couteux mentalement, est facilité lorsque le format de présentation intègre ou rapproche les sources d'information et, est au contraire, entravé si le format les sépare (Erhel & Jamet, 2006).

L'étude des stratégies pour rédiger les réponses dans cette tâche soutient cette analyse. En effet, la stratégie qui consiste à rédiger dans un cadre prévu à cet effet est optimale puisqu'elle permet un accès aux questions, au poème ainsi qu'aux réponses sur une même vue. Pour certains élèves malvoyants, cette stratégie est inaccessible du fait de l'impossibilité d'agrandir le texte de la réponse. Ils doivent alors utiliser la trousse pour annoter. Si un élève voyant accède aux questions et au poème d'un simple coup d'œil (éléments contenus sur une même page), l'élève malvoyant devra agrandir ou zoomer sur une zone précise, ce qui va le contraindre à **partager son attention entre plusieurs sources d'information, à réaliser un nombre conséquent d'aller-retours et à maintenir une quantité importante d'informations en mémoire de travail** pour pouvoir intégrer les deux sources d'information (Ayres & Sweller, 2005 ; Chandler & Sweller, 1991).

Par exemple, dans la figure ci-dessous (Figure 1), un élève malvoyant répond à la question 1 « quels détails vous permettent d'identifier ce texte comme un poème ? ». Pour y répondre, il a dû : (1) agrandir la zone des questions, (2) chercher la réponse dans le document, (3) retourner aux questions, puis (4) activer la trousse pour pouvoir rédiger sa réponse. S'il souhaite retourner au poème, il va devoir (5) fermer la trousse (par un clic sur la croix en haut à droite), puis (6) fermer l'agrandissement par zone pour revenir à la double page (par un clic que la croix à gauche). Il devra répéter cette procédure jusqu'à finaliser sa réponse.



Figure 2 : Exemple d'un élève malvoyant qui répond aux questions avec la trousse.

Ces allers-retours répétés entre les deux sources d'information engendrent une charge mentale extrinsèque, non utile aux apprentissages qui peut impacter négativement les performances ou amener les élèves à abandonner. Les élèves voyants, eux, disposent de toutes les informations sur une même vue.

Au niveau de l'utilisabilité, il apparaît que la trousse est particulièrement complexe à utiliser en comparaison à l'annotation par clic droit, et ce, quel que soit le groupe d'élève. Elle nécessite que l'élève gère la superposition de la réponse avec le texte du manuel, positionne sa réponse à l'endroit souhaité, retourne à la ligne, sélectionne la taille, etc. La gestion de ces différents paramètres peut constituer une charge extrinsèque supplémentaire qui a pu nuire à la mise en œuvre des processus mentaux utiles à l'élaboration d'une réponse de qualité. Face à ces difficultés, il apparaît que les deux groupes ont utilisé **la stratégie de suppression de phrases**. Cette stratégie consiste à ne pas rédiger de réponse par phrase mais à simplement lister les éléments de réponse. Or, ces difficultés liées aux complexités à interagir avec la trousse ont augmenté la charge extrinsèque. Cette charge étant déjà supérieure chez les élèves avec un trouble de la fonction visuelle du fait du partage attentionnel, **pouvant expliquer la dégradation des performances observées dans ce groupe** et non dans le groupe des élèves voyants.

Un autre résultat qui attire l'attention concerne **l'allongement des temps de réalisation** pour les élèves malvoyants en comparaison aux élèves voyants pour les tâches de lecture-compréhension, de navigation et pour la réalisation de l'exercice interactif. Ainsi, au global, un allongement du temps de réalisation de la tâche pour les élèves malvoyants est observé pour chacune des trois tâches étudiées, cet allongement allant d'un rapport de 1.4 à 1.7. Ce résultat est compatible avec ce qui est observé auprès d'une population d'internautes aveugles lors de tâches de navigation web (Giraud et al., 2011; Petrie et al., 2004) mais aussi lors d'activité de e-learning (Evans & Douglas, 2008). Comme pour les élèves non-voyants, **l'accès séquentiel et fragmentaire** à l'information impacte négativement les temps nécessaires à la réalisation d'une tâche donnée. Cependant, l'ordre de grandeur diffère considérablement de ce que l'on observe chez les aveugles. Sperandio et Uzan (2004) observent des rapports allant de sept à neuf fois supérieur chez les aveugles en comparaison aux voyants. Cette « diminution » de l'allongement est probablement liée au fait que les élèves malvoyants peuvent exploiter leur résidu visuel ; or, comme le souligne Hatwell et al. (2003), l'accès visuel reste le moyen le plus puissant pour accéder à l'information. Si l'on confronte les allongements observés aux mesures classiquement mises en place pour pallier les difficultés que rencontrent les élèves malvoyants, les résultats mettent en évidence des **besoins supérieurs à un tiers temps supplémentaire**. En outre, ce tiers temps supplémentaire n'est généralement mis en place que lors des sessions d'examen et correspond peu à la réalité de la classe.

Conscients que le temps est un enjeu majeur, les utilisateurs aveugles mettent en place des stratégies compensatoires comme l'écoute accélérée (Sperandio & Uzan, 2004). L'examen des enregistrements vidéo montrent des **tentatives échouées des élèves malvoyants à utiliser des stratégies compensatoires** (p. ex. les raccourcis clavier ou la recherche par mot clef), car celles-ci ne sont **pas disponibles sur le manuel scolaire numérique**.

Concernant la tâche d'appréhension de l'organisation générale, aucune différence n'a été observée entre les deux groupes d'élèves qui, globalement, échouent à cette tâche pourtant simple d'apparence. En effet, très peu d'élèves (28%) ont réussi à rappeler le

nombre exact de chapitres que comporte le manuel. Cette difficulté peut s'expliquer par une difficulté de récupération en mémoire de l'organisation générale du manuel ou par un mauvais encodage de l'information lors de la consultation du sommaire. L'analyse des activités de consultation du sommaire confirme que la difficulté à fournir le nombre exact de chapitres est liée à **une consultation partielle du sommaire**. Cette difficulté n'est pas spécifique aux élèves malvoyants.

Les résultats pour l'exercice interactif montrent des performances équivalentes entre les deux groupes, mais un temps de réalisation plus important pour le groupe des élèves malvoyants. Pour réaliser cet exercice, l'élève devait (1) comprendre la consigne, (2) analyser les mots d'une colonne, (3) chercher son antonyme dans l'autre colonne, (4) relier les deux mots entre eux, (5) répéter ces actions pour les six paires puis valider sa réponse. Le participant pouvait ensuite (6) modifier ses réponses en cas d'erreur, puis (7) valider de nouveau. Si la présentation épurée de l'exercice a facilité la navigation, la nécessité d'agrandir pour les élèves malvoyants a tout de même engendré une **perte partielle des informations présentes à l'écran** (Figure 2). Cela pourrait être une explication possible d'un allongement des temps de réalisation mais d'une absence de différence en termes de performance.

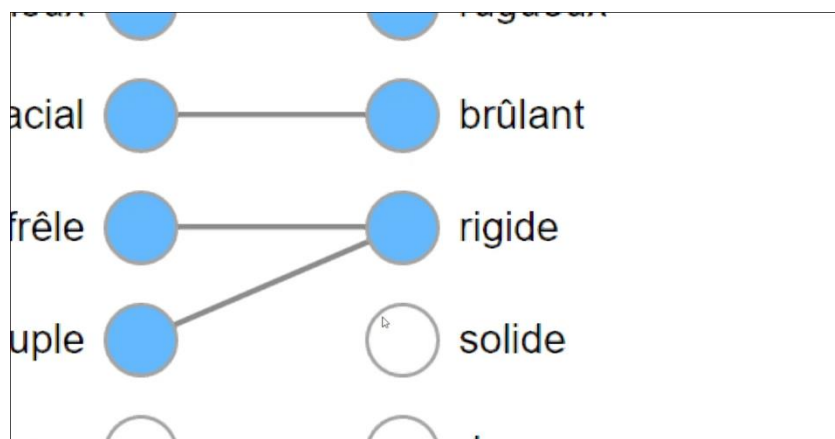


Figure 3 : Exemple de vue d'un exercice interactif par un élève malvoyant.

A l'instar de ce qui est observé pour l'exercice interactif, les temps de réalisation sont plus longs pour le groupe des élèves malvoyants lors de la tâche de recherche d'information, alors que les performances de recherche d'informations ne diffèrent pas significativement entre les deux groupes. La recherche d'information requiert des actions de navigation, **or, ces actions sont complexes à gérer pour les malvoyants du fait de l'accès séquentiel à l'information et de l'impossibilité d'avoir recours à des stratégies compensatoires (p. ex. les raccourcis clavier)**.

Une analyse des évaluations subjectives de l'effort mental associé à chaque tâche indique que les élèves malvoyants rapportent des **niveaux de charge mentale significativement plus élevés que les élèves voyants** et ce, quelle que soit la tâche à réaliser. Plusieurs éléments peuvent expliquer ces scores. D'abord, **les temps de réalisation plus importants chez ces élèves engendrent une nécessité de maintenir leur attention plus longtemps**. À cela, vient s'ajouter des exigences supérieures



associées à la réalisation de chaque tâche du fait de **l'utilisation du zoom**. L'utilisation du zoom entraîne une augmentation **des exigences de navigation, de maintien de l'information en mémoire de travail et d'intégration des informations accédées et traitées de façon séquentielles**. Les saccades oculaires permettant aux voyants d'aller et venir entre deux sources se traduisent chez les élèves malvoyants par diverses manipulations : double page – zoom sur la zone choisie – retour sur la double page – zoom sur la zone choisie, et ainsi de suite. En outre, il se pourrait que la navigation et la charge mentale associée aient également accru le **sentiment de désorientation**.

Les mesures prélevées au niveau du post-test indiquent que les élèves malvoyants se sentent plus désorientés que les élèves voyants mais le niveau de satisfaction éprouvé à utiliser le manuel est équivalent dans les deux groupes. Plusieurs explications du **faible impact des difficultés d'utilisation rencontrées par les élèves sur les jugements qu'ils émettent à propos des manuels** scolaires numériques ou leurs intentions d'usage sont possibles.

D'une part, les explications que les élèves donnent à leurs difficultés : un examen des commentaires oraux que les élèves émettent pendant le test utilisateur indique que certains élèves présentant une déficience visuelle ont **tendance à attribuer les difficultés qu'ils rencontrent à interagir avec le manuel à des facteurs internes (compétences en outils numériques) plutôt qu'au manuel lui-même**. Ainsi, malgré des difficultés à l'utiliser, l'élève a tendance à ne pas incriminer le manuel. D'autre part, il est également possible que lorsque des jugements ou perceptions subjectives sont mesurées via des échelles de Likert comparées pour des élèves voyants et malvoyants, **les référentiels internes qu'ils utilisent pour répondre soient différents**. En effet, les élèves malvoyants étant beaucoup plus fréquemment amenés à rencontrer des difficultés d'interaction avec les outils numériques que les élèves voyants, leur **seuil de tolérance à ces difficultés pourrait être beaucoup plus élevé**.

Pour conclure, les résultats montrent que les effets de la malvoyance sur la réalisation des différentes tâches impliquant le manuel scolaire numérique sont assez variables et peuvent se manifester à différents niveaux. Parfois, seuls les temps sont allongés, mais cela peut également dégrader les performances à la tâche d'apprentissage, voire entraîner son abandon.

A retenir :

- Les manuels scolaires numériques **ne sont pas compatibles au plan technique avec les lecteurs d'écran** : ils ne peuvent donc pas être utilisés par les élèves non-voyants.

- Le manuel scolaire numérique est plutôt **perçu positivement par les élèves malvoyants** et leurs intentions d'usage sont élevées ;

- Cependant, si l'on met à disposition des élèves malvoyants des manuels scolaires numériques, **l'utilisation effective reste faible** ;

- Cette faible utilisation peut s'expliquer des éléments relatifs **à l'élève** (ex : peur du changement, peur de problèmes techniques, oubli), des éléments relatifs **à l'environnement** (p. ex. un enseignant qui n'utilise pas le manuel ou panne de



l'ordinateur portable) ou encore des éléments relatifs **au manuel lui-même** (manque d'accessibilité et d'utilisabilité) ;

- Lorsque les élèves malvoyants utilisent les manuels scolaires numériques, les types d'utilisation restent proches de ceux observés pour le manuel papier. **Les fonctionnalités spécifiques au manuel numérique sont sous-exploitées** par manque de connaissances de leur utilité et de comment les utiliser ;

- Si on demande à des élèves voyants et malvoyants de réaliser des tâches d'apprentissage avec un manuel scolaire numérique, on observe chez les élèves malvoyants **un taux d'abandon à la tâche plus élevé, des temps de réalisation plus élevés (*1.5 en moyenne) et/ou une charge mentale rapportée plus élevée.**

- Cet impact sur les performances n'est pas lié à de moindres compétences des élèves malvoyants mais à l'incompatibilité entre la façon dont l'information est organisée dans le manuel et les spécificités imposées par l'accès agrandi à l'information. Les caractéristiques de présentation de l'information dans les manuels scolaires qui posent problème sont : l'organisation en double page, la présence d'éléments décoratifs et plus largement la complexité visuelle. Ces éléments génèrent un effet très négatif de partage attentionnel aux élèves malvoyants, augmentent les exigences de navigation entre les contenus et d'intégration mentale des éléments utiles à la tâche d'apprentissage et diminuent par conséquent les ressources mentales disponibles pour réaliser la tâche d'apprentissage (comprendre, raisonner, comparer, etc.)

- Le passage au manuel numérique doit être accompagné si l'on souhaite que les élèves tirent part des possibilités spécifiques qui y sont associées.

C. Etude 3 : Conception et développement de principes et solutions d'accessibilité

Les études précédentes ont permis de recenser et d'analyser les difficultés que rencontrent les élèves avec trouble de la fonction visuelle lorsqu'ils utilisent un manuel scolaire numérique et d'identifier sur cette base les principaux besoins de ces élèves. Sans surprise, le besoin principal qui émerge est un **besoin de compatibilité entre le manuel scolaire numérique et les outils d'assistance**. De plus, plusieurs des difficultés identifiées sont causées par des choix de conception qui engendrent un effet de partage attentionnel : **une présentation de l'information en double page, l'absence de vue d'ensemble, la nécessité de naviguer entre différents éléments, la présence de contenus non pertinents**. Ce problème d'attention partagée avait déjà été mis en évidence par Malti (2018) lors de l'inspection ergonomique d'un manuel scolaire numérique de géographie. Si ce point s'applique évidemment à l'ensemble des utilisateurs, il s'avère **particulièrement impactant pour les utilisateurs présentant des troubles de la fonction visuelle**. L'accès visuel, puissant, permet aux utilisateurs voyants de limiter l'impact de ces choix de conception. Au contraire, pour les élèves malvoyants, ces choix de design accentuent davantage les difficultés d'un accès agrandi déjà marqué par la séquentialité.

Trois principes de conception ont été sélectionnés comme axes d'amélioration permettant de limiter les effets de partage attentionnel dû à l'éloignement spatial de sources d'information nécessaires :

- L'intégration spatiale (Ginns, 2006)
- Le principe de pertinence/cohérence (Mayer & Fiorella, 2014)
- La multimodalité (Low & Sweller, 2014)

Outre ces trois points-clefs, les solutions proposées intègrent les critères d'accessibilité technique.

a) Rapprocher les informations utiles à la tâche

L'effet de partage attentionnel se produit lorsque les apprenants doivent partager leur attention et intégrer mentalement plusieurs sources d'informations physiquement ou temporellement éloignées, chaque source d'information et leur intégration étant indispensables à la réalisation de la tâche. La charge cognitive est accrue par la nécessité de maintenir actives en mémoire de travail les informations des différentes sources, puis de les intégrer mentalement (Ayres & Sweller, 2006). Les effets délétères du partage attentionnel ont été principalement mis en évidence au travers des études sur la contiguïté spatiale ou temporelle. Ces études ont principalement impliqué des schémas et des textes s'y rapportant et ont consisté à **comparer des formats séparés et des formats intégrés**. Ces études montrent par exemple un effet négatif sur les performances et les mesures de charge mentale lorsque les informations de légende ne sont pas directement intégrées dans le schéma (Kalyuga et al., 2011).

Si l'on considère une activité d'apprentissage classique telle que devoir répondre à des questions à propos d'un texte, 3 sources d'informations doivent être traitées de façon intégrée : le texte à lire, les questions et la réponse à générer. Comme il a été observé dans le cadre des test utilisateurs si les élèves voyants disposent de ces trois sources d'information sur la même double page et pouvaient naviguer visuellement entre elles, **les élèves malvoyants, eux, devaient réaliser des actions de modification du niveau de zoom et des déplacements pour se déplacer entre ces sources**. La difficulté à disposer d'une vue d'ensemble des 3 zones est certes la conséquence d'un accès agrandi mais peut aussi **être imputée aux principes qui régissent l'organisation de l'information dans le manuel**.

Le manuel numérique reste une copie fidèle de la version papier et, à ce titre, propose un affichage de l'information sur la base d'une double page. Par ailleurs, les solutions d'agrandissement proposées dans le manuel scolaire numérique (p. ex. agrandissement par zone) engendrent nécessairement un **effet négatif de partage attentionnel**. Or, cet effet semble jouer un rôle délétère lors de la réalisation de la tâche : les nombreuses actions requises pour pouvoir intégrer les sources d'informations, la nécessité de maintenir actives des informations en mémoire de travail (par exemple, maintenir active la question à instruire, pendant que l'élève lit le texte) engendrent une charge mentale extrinsèque, allongent le temps de réalisation de la tâche, dégradent la qualité des réponses fournies.



Les données de la littérature présentent généralement deux solutions pour limiter le partage attentionnel : **intégrer les deux sources dans l'espace ou dans le temps** (Ayres & Sweller, 2010, 2014) et **utiliser deux modalités sensorielles (effet de modalité)** (Low & Sweller, 2014).

La première solution concerne le rapprochement spatial et temporel des deux sources à traiter, voire leur intégration. Dans le cas du manuel scolaire, le rapprochement des éléments à forte interaction devrait permettre une limitation de l'effet de partage attentionnel. Par exemple, sur une page comportant des exercices, une application de l'intégration spatiale pourrait être de présenter les questions et les documents à analyser pour répondre aux questions ensemble et non séparés.

De même, plus d'informations sont présentes dans la zone à traiter, plus l'élève doit naviguer. Il s'agirait alors de respecter un principe de cohérence en filtrant la présentation des informations sur la base d'un critère d'utilité pour la tâche à réaliser. L'application de ces deux principes pourrait être opérationnalisée en rapprochant les documents des questions et en supprimant les éléments non pertinents pour réaliser la tâche. En d'autres termes, il s'agirait de proposer une présentation de l'information flexible qui s'organiserait notamment selon la logique de la tâche à réaliser et non plus selon la logique du support, c'est-à-dire en double page.

L'utilisation de modalités différentes peut également permettre de limiter l'effet de partage attentionnel. Si l'élève a deux sources visuelles à traiter, il devra naviguer entre ces deux sources. **Si une des deux sources est transposée dans une autre modalité, l'élève pourra accéder aux deux sources simultanément et sans avoir recours à la navigation.** Dans le cas présent, l'accès à l'information se fait uniquement visuellement. Des fichiers audios sont disponibles mais ils constituent seulement des ressources complémentaires et ne permettent pas un accès audio sur l'ensemble du manuel. L'utilisation de modalités différentes dans le manuel scolaire pourrait être réalisée en donnant aux élèves la possibilité d'accéder à l'ensemble du contenu du manuel scolaire de façon visuelle ou auditive.

Ces principes de conception impliquent de se détacher de la version papier et des contraintes qui y sont associées. La suppression de l'unité « double page » et des éléments non pertinents pour la tâche devrait permettre un gain considérable d'espace optimisant les possibilités d'affichage d'éléments textuels jugés pertinents lors de la réalisation d'une tâche. En effet, lors de la réalisation d'un exercice de type lecture-compréhension, un élève n'aura besoin que de certains éléments :

- Zone 1 : le(s) document(s) à étudier
- Zone 2 : le(s) question(s) auxquels l'élève doit répondre
- Zone 3 : une zone de réponse

La suppression des éléments non utiles pour la réalisation de la tâche renvoie à **l'effet de cohérence**. Cette première solution de design sera testée ci-après sous le nom de version intégrative. Cependant, la surcharge du canal visuel constitue une limite à cette solution puisque toutes les informations sont présentées visuellement. Aussi, une autre solution consisterait à exploiter l'effet de modalité.



b) Offrir un accès multimodal

Une seconde solution proposée renvoie à l'utilisation de media faisant appel à des modalités différentes. L'accès exclusivement visuel est coûteux et entraîne une charge mentale importante qui est préjudiciable pour les apprentissages. Aussi, il semble pertinent de faire appel au **principe de multimodalité de Mayer** (2014). Ce principe, largement étayé chez les élèves voyants, n'a, à notre connaissance, pas été évalué chez des élèves avec un trouble de la fonction visuelle en contexte scolaire. Si le recours à la modalité audio reste peu répandu en France pour les apprentissages à partir de documents chez les élèves avec un trouble de la fonction visuelle, du fait des adaptations principalement papier, à un niveau international, son usage semble bien plus démocratisé. Les observations et entretiens réalisés en Suède ont mis en avant le fait que les élèves malvoyants et aveugles, et ce quel que soit le niveau scolaire, ont fréquemment recours à la modalité audio pour accéder aux contenus pédagogiques. Ces élèves associent à la modalité audio un gain de temps important. Ils énoncent y avoir recours dans le cas d'une situation à fort enjeu temporel (p. ex. faire un exercice en classe) ou pour la consultation de documents très volumineux (p. ex. un livre de sciences économiques à lire). En effet, l'audio est une modalité d'accès aux contenus particulièrement efficace chez les personnes avec un trouble de la fonction visuelle qui peuvent utiliser des stratégies d'écoute accélérée (Dietrich et al., 2013 ; Hertrich et al., 2009).

Ici, la proposition faite est de combiner un accès auditif et visuel aux informations afin de solliciter les deux canaux de traitement et ainsi limiter la charge mentale associée au traitement d'une modalité unique. Cette solution sera nommée ci-dessous version intégrée multimodale.

L'hypothèse générale est que chez des élèves malvoyants, ces versions intégrées ou multimodale du manuel seront plus adaptées pour réaliser une tâche de lecture-compréhension qu'une version correspondant au format séparé observé dans le manuel. Ces versions modifiées sont supposées diminuer les exigences mentales associées aux aller-retours entre les trois sources d'informations, exigences qui constituent une charge extrinsèque délétère pour réaliser les tâches d'apprentissage. Il est donc attendu que ces deux versions entraînent des niveaux de charge mentale subjective plus faibles, des temps de réalisation de la tâche moins longs et des performances à la tâche de lecture-compréhension plus élevées que la version contrôle correspondant au format observé dans le manuel.

A retenir :

- Pour réduire l'effet de partage attentionnel, **deux formats de présentation modifiés** ont été conçus et comparés au format traditionnel séparé.
- Les deux formats se fondent sur trois principes de la théorie cognitive des apprentissages multimédia (Mayer, 2014) : **le principe d'intégration, le principe de pertinence (i.e. principe de cohérence) et le principe de multimodalité.**
- Dans les deux formats, **l'information présentée se limite aux éléments utiles** pour réaliser la tâche (principe de pertinence), ce qui permet dans le format intégré unimodal de **rapprocher les sources d'informations à intégrer** (principe d'intégration)



spatiale). Dans le format intégré multimodal, **une des sources est présentée auditivement** (principe de multimodalité).

D. Etude 4 : Evaluation empirique des solutions conçues

Pour rappel, l'exercice de lecture-compréhension utilisé dans cette étude expérimentale comportait un texte à lire, des questions et une zone de réponse. Cet extrait a été décliné sous trois versions détaillées plus bas :

- Une version contrôle correspondant au format proposé dans le manuel numérique existant actuellement et disponible dans le commerce (cf. figure 3)
- Une version intégrative dans laquelle le principe qui régit l'organisation de l'information dans le manuel n'est plus l'espace de la page mais la tâche à réaliser.
- Une version intégrative multimodale dans laquelle les différentes sources d'information à traiter pour réaliser une tâche sont réparties sur deux modalités sensorielles (auditive-visuelle pour les élèves malvoyants et auditive-tactile pour les élèves non-voyants).

La version contrôle correspond à la version disponible dans le manuel scolaire numérique du commerce. Aucune modification n'a été apportée. Comme la version papier d'un manuel scolaire, cette version est caractérisée par une présentation de l'information sur une double page. Il s'agit d'un format séparé au sens où les questions et le poème, bien que présentés sur la même double page, sont éloignés physiquement et la double page contient des éléments non pertinents pour la tâche de lecture-compréhension (p. ex. la page 17 renvoie à un autre poème et ses questions associées qui n'ont aucun rapport avec l'exercice de la page 16).

L'image représente une double page de manuel scolaire numérique qui contient de nombreux éléments. On remarque d'un exercice de compréhension en français implique différents éléments qui sont séparés : le poème à lire, les questions sur le poème et la zone pour répondre aux questions.

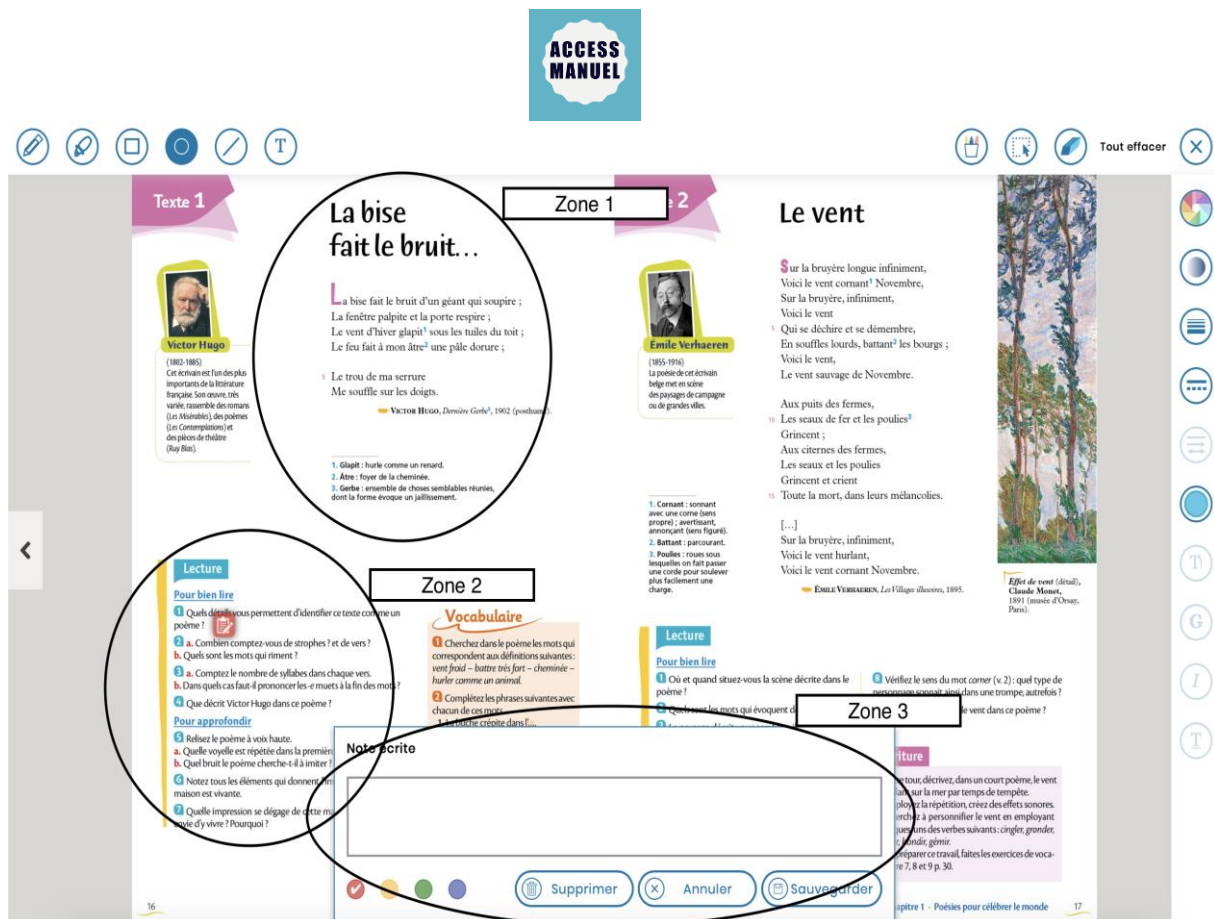


Figure 4 : la version contrôlée de l'extrait du manuel scolaire numérique

Outre les caractéristiques du manuel scolaire numérique, l'application de lecture Bibliomanuel dispose de diverses fonctionnalités. Au total 11 éléments cliquables sont visibles sur les contours de l'écran (p. ex. une flèche pour retourner à la dernière page consultée, des livres pour aller à la bibliothèque) ainsi qu'un logo et neuf éléments cliquables sont actifs sur la double page du manuel scolaire (p. ex. les textes sont agrandissables sur clic ainsi que les questions).

Dans cette version il est possible de répondre aux questions de trois façons différentes (cf. partie tests utilisateurs pour description détaillée) :

- Via l'outil d'annotation
- Via l'outil d'enregistrement audio
- Via l'outil « trousse »

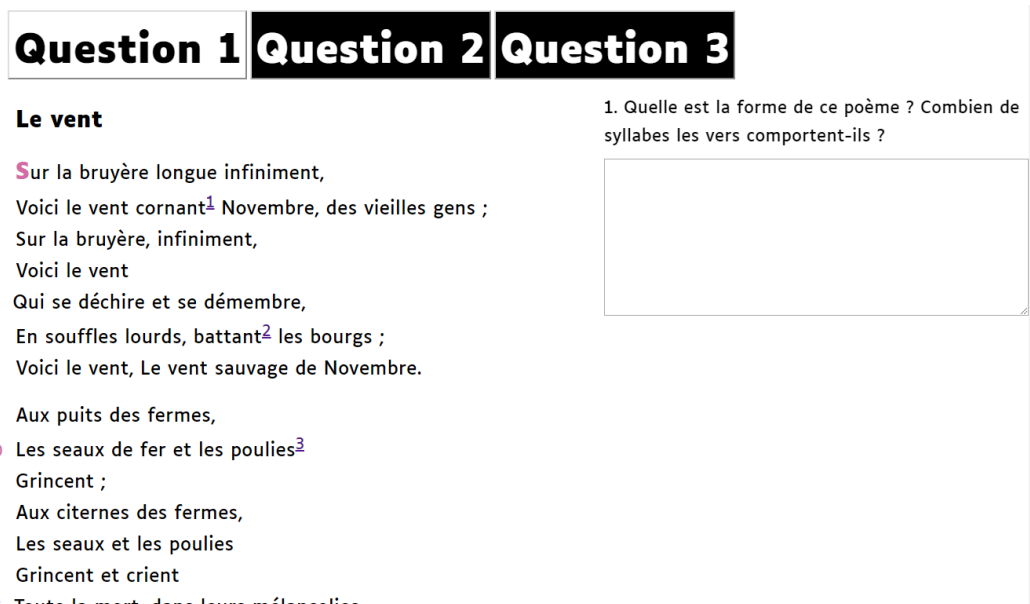
La version intégrative (cf. figure 4) vise à limiter l'effet de partage attentionnel par un rapprochement physique des sources d'informations ; de plus, les recommandations relatives à la lisibilité des informations pour les élèves déficients visuelles ont été intégrées, à savoir :

- Une typographie et codes couleurs optimisés. Dans le cas présent, la police LUCIOLE, développée spécifiquement pour les élèves avec un trouble de la fonction visuelle par le CTRDV de Villeurbanne, a été utilisée pour tous les éléments textuels. Les codes couleurs du document original sont respectés mais les contrastes ont été augmentés.
- Cette version est compatible avec les logiciels d'assistance. L'élève pourrait, s'il le souhaite, utiliser une synthèse vocale, un logiciel d'agrandissement ou une plage braille.

Pour limiter l'effet de partage attentionnel, les choix de conception suivants ont été opérés :

- **La création d'un menu horizontal correspondant aux questions.** L'objectif poursuivi ici est de limiter les manipulations liées à la navigation. Aussi des indices favorisant l'état du système sont fournies. Lorsque le participant clique sur la question celle-ci passe de blanc sur fond noir à noir sur fond blanc. De cette façon, il est en mesure d'identifier la question qui lui est présentée et a une vision générale du nombre de questions auxquelles il va devoir répondre. Aussi, le menu reste présent à l'écran même lorsque le texte du poème est scrollé. Cela permet à l'élève un accès direct aux questions à tout moment de la lecture.
- L'ensemble des modalités d'interaction est possible par utilisation du clavier ou de la souris.
- L'accès aux définitions des mots complexes se fait via un clic sur la puce en exposant. Un bandeau blanc apparaît en bas contenant la définition. Le fond est grisé mais toujours accessible. Pour revenir au poème, l'élève peut cliquer n'importe où sur la page. Il peut faire apparaître et disparaître autant de fois qu'il le souhaite la définition. Dans la version contrôle ces définitions sont sur le bas-côté gauche du texte ou peuvent être accessibles en grand lorsque le texte a été préalablement agrandi.
- L'affichage se fait toujours en plein écran (pas de barre de navigation ou autres éléments non utiles).

Dans la version intégrative, les informations sont présentées **uniquement de façon visuelle**.

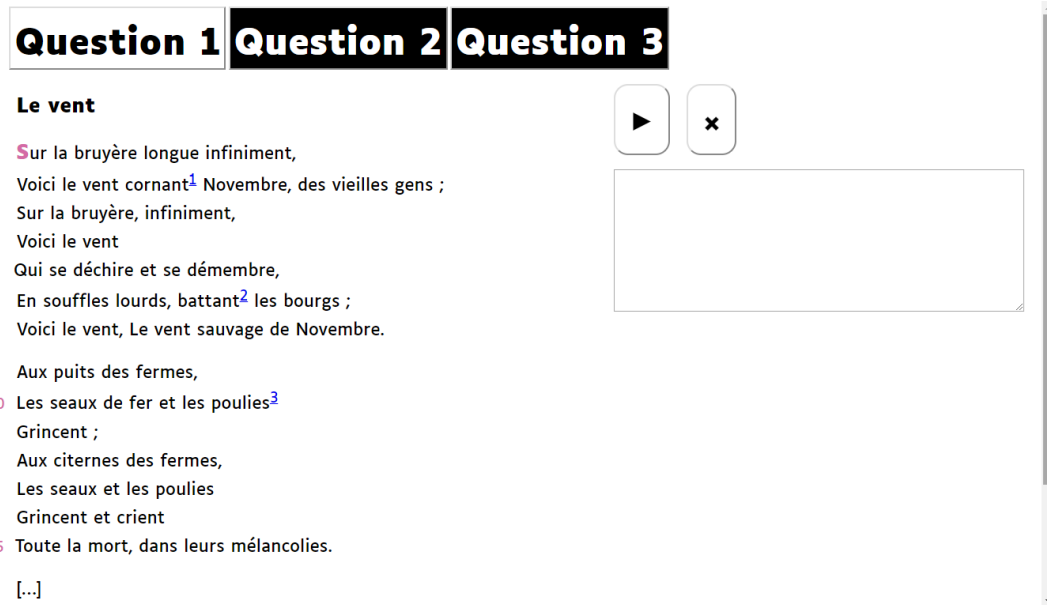


The screenshot shows a user interface with a horizontal menu at the top containing three items: 'Question 1', 'Question 2', and 'Question 3'. 'Question 1' is highlighted with a white background, while the others are on a black background with white text. Below the menu, the text of the poem 'Le vent' is displayed. To the right of the text, a question is posed: '1. Quelle est la forme de ce poème ? Combien de syllabes les vers comportent-ils ?'. Below the question is a large, empty rectangular text input area. A vertical scrollbar is visible on the right side of the page.

Figure 5 : Illustration de la version intégrée.

La version intégrée-multimodale (cf. figure 5) reprend l'ensemble des éléments qui constituent la version intégrée. La spécificité de cette version réside dans le fait qu'elle véhicule les informations via deux modalités sensorielles (visuelle et auditive). Le texte correspondant au poème à lire est présenté visuellement, alors que la question n'est disponible qu'en version audio. Ce choix a été fait car il correspond à des situations

observées lors desquelles l'AESH oralise seulement la question. Le fichier audio s'active sur clic sur le pictogramme Play ou en appuyant sur la touche entrée. Comme pour la version intégrative, l'activation de la zone de réponse se fait par clic sur le pictogramme question et l'affichage est aussi possible par un raccourci clavier.



Question 1 **Question 2** **Question 3**

Le vent

Sur la bruyère longue infiniment,
Voici le vent cornant¹ Novembre, des vieilles gens ;
Sur la bruyère, infiniment,
Voici le vent

5 Qui se déchire et se démembré,
En souffles lourds, battant² les bourgs ;
Voici le vent, Le vent sauvage de Novembre.

Aux puits des fermes,
10 Les seaux de fer et les poulies³
Grincent ;
Aux citernes des fermes,
Les seaux et les poulies
Grincent et crient

15 Toute la mort, dans leurs mélancolies.

[...]

Buttons: Play (▶) and Close (✕)

Input area: [Empty text box]

Figure 6 : Illustration de la version multimodale.

Les trois versions qui seront comparées se distinguent à plusieurs niveaux (Tableau 4). Visant à réduire l'effet de partage de l'attention, les versions intégrée et intégrée multimodale proposent une présentation sur une seule vue dans laquelle seules les informations nécessaires pour réaliser la tâche sont présentées. À l'inverse, la version contrôle affiche une présentation en double page de l'information marquée par la présence d'un nombre important d'informations non pertinentes pour réaliser la tâche.

| | Version contrôle | Version intégrée | Version intégrée multimodale |
|--|--------------------------|---|---|
| Présentation de l'information | Double-page | Page simple | Page simple |
| Format | séparé | intégré | intégré |
| Accès | visuel | visuel | Visuel (document) Auditif (questions) |
| Fonctionnalité d'annotation | Double | Unique | Unique |
| Principe de cohérence | Non respecter | respecté | respecté |
| Compatibilité avec les logiciels d'assistance | non | oui | oui |
| Zoom | Partiellement utilisable | Utilisable sur l'intégralité des contenus | Utilisable sur l'intégralité des contenus |

Tableau 4 : Récapitulatif des différences entre les versions contrôle, intégrée et intégrée-multimodale.

Voici les principaux résultats obtenus.

La supériorité des formats intégré et intégré multimodal sur le format contrôle est marquée dans la phase de test puisque toutes les différences révélées significatives au plan statistique sont en leur faveur. Cette supériorité se traduit par une **absence d'abandons, des temps de réalisation divisés en moyenne par 1.7, des niveaux de charge mentale rapportés plus faibles, des performances de lecture-compréhension améliorées** (mais pour le format intégré multimodal uniquement). Les formats intégré et intégré multimodal sont également **mieux classés que le format contrôle (i.e. séparé) dans l'ordre de préférence des élèves**.

Dans le format séparé, les informations utiles à la tâche sont organisées sur une double page mais de façon séparée et la double page contient d'autres éléments non utiles à la tâche. Comme observé, l'élève est alors confronté à une double contrainte : il doit sélectionner les contenus utiles à la tâche pour focaliser son attention sur ces éléments et il doit faire des allers-retours entre les contenus utiles (p. ex., lire une question, puis lire le texte, relire la question, retourner au texte, créer une zone pour sa réponse, commencer à rédiger sa réponse, retourner au texte, etc.). Si ce filtrage et ces allers-retours sont gérables pour un élève voyant, ils sont difficiles à mettre en œuvre pour les élèves malvoyants. En effet, l'utilisation du zoom conduisant à un agrandissement, les contenus utiles ne sont plus simultanément présents à l'écran, leur accès requiert des actions de navigation explicites qui mobilisent des ressources en mémoire de travail. L'élève malvoyant est alors en situation de **partage attentionnel et doit maintenir beaucoup d'éléments en mémoire de travail. Sa charge mentale extrinsèque augmente et il dispose alors de moins de ressources mentales disponibles pour réaliser la tâche (lire, comprendre, élaborer sa réponse, etc.)**.

A contrario, dans les formats intégré et multimodal, il s'agit de se départir du cadre structurant de la double-page pour adopter une **organisation fonctionnelle pilotée par la tâche d'apprentissage**, où la tâche et ses constituants agissent comme un filtre de l'information à présenter. L'affichage est **limité aux seuls blocs d'informations utiles pour réaliser la tâche : consignes, blocs d'informations à traiter, zones de réponse**. En limitant le nombre de blocs d'information affichés à l'écran, il devient possible de les **rapprocher, de permettre leur affichage simultané malgré l'utilisation du zoom et de limiter ainsi les exigences mentales liées aux déplacements entre les sources**. Ce principe de filtrage/intégration permet donc à la fois de réduire les effets de l'attention partagée et de limiter la charge perceptive visuelle en ne conservant que l'information pertinente pour réaliser la tâche.

Les résultats de la présente étude confirment cette mécanique supposée. En effet, le format classique entraîne des manipulations du zoom et des déplacements qui sont moins nécessaires avec les 2 autres formats. Ces opérations entraînent un effet de partage attentionnel qui augmente la charge mentale extrinsèque. Cette augmentation entrave la mise en œuvre de processus mentaux essentiels pour réaliser la tâche. **Ainsi, au niveau des performances à la tâche de lecture/compréhension, on observe bien une supériorité des formats intégré et intégré et multimodaux sur le format séparé**

mais la supériorité est vérifiée statistiquement uniquement pour le format multimodal comparé au format séparé.

Les évaluations subjectives des élèves quant aux trois formats de présentation sont également en faveur des format intégré et multimodal. Qu'il s'agisse d'évaluer les niveaux subjectifs de facilité d'accès, de transition ou d'écriture, le format séparé est toujours moins favorablement évalué que les formats intégré et intégré multimodal. Cette différence s'observe également lorsque l'on recueille les intentions d'usage des élèves ainsi que leur satisfaction. Majoritairement, les élèves favorisent les versions intégrées à la version contrôle.

Concernant la comparaison des formats intégré et intégré multimodal, **les résultats vont dans le sens d'un plus grand bénéfice associé au format intégré multimodal.** D'abord, les mesures relatives à la performance montrent une supériorité de la version multimodale à la version contrôle, alors qu'aucune différence significative n'apparaît avec la version intégrée. Ce résultat est à coupler avec les écarts observés sur le nombre de mots constituant la réponse ; là encore, seule la comparaison entre le format multimodal et le format séparé produit une différence significative. Si l'on admet que la longueur de la réponse reflète la quantité de ressources mentales disponibles pour réaliser la tâche, alors il semble que le format intégré multimodal soit plus bénéfique de ce point de vue. On notera d'ailleurs que si les deux formats intégré et intégré multimodal entraînent des niveaux de charge mentale extrinsèque subjectifs plus faibles que le format séparé, la différence au plan descriptif est d'autant plus marquée entre le format multimodal et le format séparé.

Si les formats intégré et intégré multimodal permettent tous deux de diminuer la quantité d'informations non pertinentes, de rapprocher les informations et donc, de diminuer le partage attentionnel, **seule la version intégrée multimodale permet de répartir les sources d'informations sur différentes modalités sensorielles.**

Un autre élément important relatif à la multimodalité concerne l'analyse des données subjectives. La version intégrée multimodale est **jugée plus facile et satisfaisante que les deux autres versions.** En distinguant l'intention d'usage en classe et à la maison, il était possible d'observer l'importance des éléments environnementaux dans la prise de décision d'utiliser ou non un outil. Le retour d'expérience utilisateur avait pointé un non usage des fichiers audio explicable en partie par un phénomène de désirabilité sociale. Aussi, il était attendu que les élèves aient des intentions d'usage de la version multimodale supérieure à la maison et qu'ils privilégient la version intégrée unimodale en classe. Si les résultats vont dans le sens de ces hypothèses, l'interprétation doit être nuancée. En effet, si les élèves ont effectivement mis en avant le caractère stigmatisant de l'audio comme cause de rejet en contexte de classe (p. ex. avec des écouteurs, alors que les camarades n'en ont pas), d'autres arguments ont été avancés. Certains élèves ont exprimé une fatigue visuelle importante en fin de journée et considèrent que l'usage de l'audio permettrait de les soulager. Un argument proche de celui-ci a aussi été avancé par plusieurs élèves, mais cette fois-ci pour un usage en classe. Certains élèves ont privilégié la version multimodale en contexte scolaire avançant un gain de temps important. En classe, la pression temporelle étant importante, l'utilisation de l'audio leur permettrait de gagner du temps

pour suivre le tempo de la classe. À la maison, la pression temporelle ayant disparu, ils peuvent accéder à l'information de façon visuelle, et donc plus lentement. Ce point souligne la nécessité : **1. de rendre possible un accès multimodal et 2. de ne pas contraindre l'utilisateur dans son choix.** Notons qu'un seul élève s'est positionné en faveur de la version contrôle avec comme argument le fait d'avoir la même version que ces camarades. Enfin, deux élèves ont souligné le fait que les versions intégrées manquent de couleurs et d'images.

A retenir :

- Le non-respect des normes/critères d'accessibilité engendre une incompatibilité entre les manuels scolaires numériques et les technologies d'assistances (lecteurs d'écran) : ils ne peuvent donc pas être utilisés par les élèves non-voyants.
- Le manuel scolaire numérique est plutôt perçu positivement par les élèves malvoyants et leurs intentions d'usage sont élevées ;
- Cependant, si l'on met à disposition des élèves malvoyants des manuels scolaires numériques, l'utilisation effective reste faible ;
- Cette faible utilisation peut s'expliquer par des éléments relatifs à l'élève (ex : peur du changement, peur de problèmes techniques, oubli), des éléments relatifs à l'environnement (p. ex. un enseignant qui n'utilise pas le manuel ou panne de l'ordinateur portable) ou encore des éléments relatifs au manuel lui-même (manque d'accessibilité et d'utilisabilité) ;
- Lorsque les élèves malvoyants utilisent les manuels scolaires numériques, les types d'utilisation restent proches de ceux observés pour le manuel papier. Les fonctionnalités spécifiques au manuel numérique sont sous-exploitées par manque de connaissances de leur utilité et de comment les utiliser ;
- Si on demande à des élèves voyants et malvoyants de réaliser des tâches d'apprentissage avec un manuel scolaire numérique, on observe chez les élèves malvoyants un taux d'abandon à la tâche plus élevé, des temps de réalisation plus élevés (*1.5 en moyenne) et/ou une charge mentale rapportée plus élevée.
 - Cet impact sur les performances n'est pas lié à de moindres compétences des élèves malvoyants mais à l'incompatibilité entre la façon dont l'information est organisée dans le manuel et les spécificités imposées par l'accès agrandi à l'information. Les caractéristiques de présentation de l'information dans les manuels scolaires qui posent problème sont : l'organisation en double page, la présence d'éléments décoratifs et plus largement la complexité visuelle. Ces éléments génèrent un effet très négatif de partage attentionnel aux élèves malvoyants, augmentent les exigences de navigation entre les contenus et d'intégration mentale des éléments utiles à la tâche d'apprentissage et diminuent par conséquent les ressources mentales disponibles pour réaliser la tâche d'apprentissage (comprendre, raisonner, comparer, etc.)
 - Le passage au manuel numérique doit être accompagné si l'on souhaite que les élèves tirent part des possibilités spécifiques qui y sont associées.



VII. Recommandations au regard des résultats

L'objectif du projet ACCESS-MAN est double : 1) analyser comment les élèves déficients visuels accèdent aux ressources pédagogiques papier et numériques pour mieux cerner leurs besoins en matière d'accessibilité et 2) concevoir et évaluer des solutions de conception des manuels scolaires numériques permettant d'améliorer leur accessibilité pédagogique pour ces élèves.

Les différentes études qui ont été menées ont permis d'obtenir un ensemble de résultats dont on peut dériver un ensemble de recommandations que nous pensons utiles à différentes communautés.

Le premier set de recommandations s'adresse **prioritairement aux éditeurs de manuels scolaires et plus largement aux concepteurs de ressources pédagogiques numériques**. Certaines recommandations sont aussi utiles à la conception des ressources pédagogiques papier car elles concernent des dimensions des documents qui ne sont pas spécifiques au numérique (p.ex. le format de présentation de l'information).

Un deuxième set de recommandations s'adresse plus largement **aux enseignants en milieu ordinaire et spécialisé** et concernent la question de l'accompagnement des élèves déficients visuels scolarisés en milieu ordinaire.

Pour chaque recommandation, nous précisons le thème de la recommandation, son contenu et sa portée (utilisateurs qui en tireront bénéfice et ressources pédagogiques concernées).



A. Recommandations concernant la conception des manuels scolaires numériques

| Thème de la recommandation | Contenu de la Recommandation | Portée : personnes ciblées/ressources ciblées |
|--|---|---|
| Format de présentation de l'information dans le manuel | Supprimer les informations redondantes/inutiles aux tâches d'apprentissage ou offrir une possibilité de filtrage qui ne retient que les informations/média utiles à la tâche | Elèves malvoyants, non-voyants et voyants ; toutes ressources pédagogiques |
| Format de présentation de l'information dans le manuel | L'unité/le principe d'organisation des informations ne doit plus être la double page mais les tâches d'apprentissage | Elèves malvoyants, non-voyants et voyants ; toutes ressources pédagogiques |
| Format de présentation de l'information dans le manuel | Rapprocher spatialement les informations que l'élève doit combiner pour réaliser la tâche pour limiter les aller-retours | Elèves malvoyants, non-voyants et voyants ; toutes ressources pédagogiques |
| Format de présentation de l'information dans le manuel | Augmenter les alternatives auditives aux contenus textuels visuels | Elèves malvoyants et non-voyants ; toutes ressources pédagogiques numériques |
| Format de présentation de l'information dans le manuel | Simplifier la mise en page et les procédés typographiques et dispositionnels (ne pas utiliser trop de couleurs ou d'icônes différentes) | Elèves malvoyants, non-voyants et voyants ; toutes ressources pédagogiques |
| Format de présentation de l'information dans le manuel | Homogénéiser les procédures d'utilisation des outils (annotation, trousse, etc.) entre les manuels scolaires numériques | Elèves malvoyants, non-voyants et voyants ; toutes ressources pédagogiques numériques |
| Accessibilité technique | Garantir la compatibilité technique entre les manuels scolaires numériques et l'application de lecture des manuels avec les lecteurs d'écran (résoudre les problèmes de gestion des droits numériques et améliorer le balisage) | Elèves non-voyants ; toutes ressources pédagogiques numériques |
| Respect des A2RNE | Vérifier systématiquement le respect des A2RNE notamment l'alternative textuelle aux images et le balisage indiquant la langue du contenu | Elèves non-voyants ; toutes ressources pédagogiques numériques |

| | | |
|--|---|---|
| Respect des critères ergonomiques de Bastien et Scapin | Vérifier systématiquement le respect des critères ergonomiques notamment : <ul style="list-style-type: none"> - le zoom intégré à l'application doit être fonctionnel dans tout le manuel (p.ex. la trousse, la zone d'annotation...); - une fonctionnalité doit être associée à un seul outil dans le manuel ; - augmenter les possibilités de personnalisation de l'affichage des informations (contraste, taille, etc.) - intégrer la possibilité d'utiliser des raccourcis clavier à la place de la souris ; - intégrer la possibilité d'utiliser la recherche par mot clé | Elèves malvoyants, non-voyants et voyants ; toutes ressources pédagogiques numériques |
| Point d'accès aux manuels scolaires numériques | Proposer un point d'accès et un lecteur unique pour tous les manuels scolaires numériques | Elèves malvoyants, non-voyants et voyants ; manuels scolaires numériques |

B. Recommandations relatives à l'accompagnement des élèves déficients visuels en milieu ordinaire

| Thème de la recommandation | Contenu de la Recommandation | Portée : personnes ciblées/ressources ciblées |
|--|--|--|
| Mise à disposition de ressources pédagogiques | Proposer une version numérique adaptée intégrale du manuel scolaire ⁸ | Elèves malvoyants et non-voyants ; manuels scolaires numériques |
| Mise à disposition de manuels scolaires numériques | La mise à disposition de manuels scolaires numériques aux élèves déficients visuels doit être accompagnée par une formation explicite à l'utilisation du manuel des élèves, mais aussi de leur famille | Elèves malvoyants, non-voyants, voyants ; manuels scolaires numériques |
| Dimension sociale des adaptations | Les adaptations proposées à l'élève déficient visuel qui ont vocation à être utilisées en classe doivent être le moins stigmatisantes possibles et favoriser plutôt des outils grand public | Elèves malvoyants, non-voyants ; toutes ressources pédagogiques numériques |

⁸ Cette recommandation supposerait, à l'instar de la Suède, de proposer un nombre de manuels scolaires par niveau beaucoup plus réduit.

VIII. Présentation des supports d'application développés

Nous avons choisi de repartir des tableaux descriptifs initialement proposés dans le projet.

| | |
|----------------------|---|
| Format support | du Deux comptes Facebook et Twitter ; Associé à une page Facebook dédiée au projet, création d'un compte Twitter « ACCESS-MAN » comme porte-voix de la page Facebook. Page Facebook du projet : https://www.facebook.com/AccessManuel Compte twitter : https://twitter.com/AccessManuel |
| Objectif | L'objectif était triple : mieux visibiliser le projet, ses productions et retombées, faire de la veille en relation avec les thématiques du projet, mailler un réseau indispensable pour assurer la dimension collaborative du projet. |
| Contenu | Actualités du projet et événements en lien avec le projet Sur la page Facebook, nous avons posté des actualités du projet, ainsi que des actualités en lien avec le projet (colloques, manifestations grand public, parution d'ouvrages, etc.). Sur Twitter, il s'agissait de poster des twitts signalant ces événements à la communauté. Le compte Twitter a cependant subi un problème d'accès lié à la perte de l'adresse institutionnelle de l'administratrice du compte. Le choix a été fait alors d'utiliser le compte LinkedIn de l'administratrice comme complément de diffusion dans les réseaux. Par conséquent, la diffusion des supports d'applications passe par LinkedIn ainsi que sur Facebook. Aussi, les actualités du projet sont systématiquement diffusées dans le bulletin de veille « déficience visuelle » de l'INSHEA. |
| Langue d'élaboration | Français |
| Type de Public cible | les professionnels de terrain (enseignants spécialisés, association de personnes présentant une déficience visuelle, etc.) et la communauté des personnes déficientes visuelles et leurs proches, les chercheurs dans le champ du handicap et de l'éducation, les partenaires du projet |

| | |
|---------------------|--|
| Canaux de diffusion | <p>Une mailing liste a été utilisée pour informer les personnes de la création de la page facebook et du compte twitter et les inciter à s’y abonner ; elle comptait environ 90 personnes et rassemblait à la fois des acteurs de la communauté scientifique (chercheurs, étudiants), de la communauté éducative (directions de lycée, enseignants) et de professionnels (direction d’associations accueillant des jeunes handicapés, enseignants spécialisés, adaptateurs, éditeurs, AVSH, élèves, parents d’élèves, etc).</p> <p>De plus, la création des 2 comptes a été relayée par divers acteurs institutionnels (CNRS, laboratoires partenaires du projet, etc.) et annoncée lors de la journée thématique de novembre 2018</p> <p>Ces supports ont été mis en œuvre simultanément à l’automne 2018. La définition de la ligne éditoriale de ces supports a fait l’objet d’une concertation avec le service communication de la Délégation Régionale du CNRS Midi-Pyrénées.</p> <p>Le compte Facebook compte 88 abonnés et le compte twitter 70 followers. Sur le compte facebook, les administrateurs ont effectué environ 2-4 posts/mois mais la diffusion a beaucoup diminué en 2019, l’administratrice principale ayant dû se consacrer à l’écriture de son manuscrit de thèse, puis à sa soutenance.</p> |
|---------------------|--|

| | |
|----------------------|--|
| Format du support | Une vidéo courte présentant les objectifs du projet et ses retombées attendues |
| Objectif | Communiquer les grandes lignes du projet ACCESS-Man et les retombées attendues, rendre plus visibles les travaux de recherche appliquée en lien avec le handicap |
| Contenu | <p>Cette vidéo consiste en une présentation vulgarisée du contexte, des objectifs et des retombées attendues du projet ACCESSMAN (cf. Annexe 1 pour le contenu textuel détaillé).</p> <p>La vidéo consiste en un discours oral basé sur 2 voix (L. Castillan et J. Lemarié) d’une durée de 5’46. Si des images et des éléments textuels sont également inclus dans la vidéo, ainsi que le visage des personnes qui parlent, ils ne servent qu’à illustrer le discours oral et ne sont donc pas utiles à la compréhension du message. Le texte correspondant au discours oral a été validé par l’ensemble de partenaires du projet. La diffusion de la vidéo devait être accompagnée du texte correspondant au discours oral ainsi que de sa traduction en anglais.</p> |
| Langue d’élaboration | français |
| Type de Public cible | Les professionnels de terrain (enseignants spécialisés, association de personnes en situation de handicap visuel, etc.) et la communauté des |



| | |
|---------------------|--|
| | personnes déficientes visuelles et leurs proches, les chercheurs dans le champ du handicap et de l'éducation , le grand public. |
| Canaux de diffusion | diffusion sur le site du laboratoire CLLE ; diffusion libre sur les réseaux sociaux (comptes Facebook et LinkedIn dédiés au projet) Une diffusion est prévue via différents relais (Newsletter ICEVI-Europe, GPEAA, GRHAPES, etc.) est pour la rentrée 2022. |

| | |
|----------------------|---|
| Format du support | Une vidéo illustrant les difficultés et stratégies des élèves déficients visuels pour accéder et utiliser des ressources pédagogiques numériques. |
| Objectif | Sensibiliser aux questions d'accessibilité pédagogique et d'éducation inclusive, diffuser les résultats principaux du projet |
| Contenu | <p>Le contenu s'organise autour du plan suivant :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Introduction : le plan numérique pour l'éducation et l'inclusion des élèves déficients visuels en milieu ordinaire conduisent à s'interroger sur le rôle que vont jouer les technologies numériques pour l'éducation des élèves en situation de handicap. 2. Objectif général de la recherche ACCESSMAN 3. Modalités d'accès actuelles aux contenus pédagogiques <ol style="list-style-type: none"> a. Efficacité de ces modalités b. Spécificités cognitives de ces modalités et conséquences (difficultés et stratégies de compensation) 4. Retour à la question de départ 5. Spécificités des manuels scolaires numériques 6. Présentation des travaux et résultats 7. Résumé <p>Cf. annexe 2 pour une présentation détaillée du contenu verbal de la vidéo. Dans cette vidéo, la partie visuelle concerne des animations visant à illustrer les situations concrètes dans lesquelles les élèves non-voyants et malvoyants se trouvent lorsqu'ils doivent accéder à des ressources pédagogiques en classe.</p> |
| Langue d'élaboration | Français + version doublée en anglais. Une traduction langue des signes est prévue pour l'automne 2022 mais n'a pu être réalisée dans le temps imparti au projet pour des raisons calendaires. |
| Type de Public cible | les professionnels de l'édition et de la conception de documents pédagogiques, les services d'adaptation de documents, les responsables de formation à l'enseignement spécialisé, le grand public |
| Canaux de diffusion | Actuellement diffusée sur le site de l'université Toulouse Jean Jaurès et le site du laboratoire CLLE ; *Version française* - VIDÉO lien direct : https://prismes.univ-toulouse.fr/video.php?code=407V4p92&width=100%&height=100%&lang=FR - VIDÉO avec player et sous-titrage : |



| | |
|--|---|
| | <p>https://prismes.univ-toulouse.fr/player.php?code=407V4p92&width=100%&height=100%&lang=FR</p> <p>*Version anglaise*</p> <p>- VIDÉO lien direct : https://prismes.univ-toulouse.fr/video.php?code=pi0135RF&width=100%&height=100%</p> <p>- VIDÉO avec player et sous-titrage : https://prismes.univ-toulouse.fr/player.php?code=pi0135RF&width=100%&height=100%</p> <p>diffusion libre sur les réseaux sociaux (comptes Facebook et LinkedIn dédiés au projet)</p> <p>Une diffusion est prévue via différents relais (Newsletter ICEVI-Europe, GPEAA, GRHAPES, etc.) est pour la rentrée 2022.</p> |
|--|---|

| | |
|----------------------|--|
| Format du support | Rapport écrit |
| Objectif | Permettre au public cible de mieux connaître les besoins réels des élèves déficients visuels, disposer de repères pour la conception de ressources documentaires adaptées, enrichir les formations sur le handicap visuel et sur l'éducation inclusive, plus précisément sur les besoins des élèves en matière d'accessibilité numérique |
| Contenu | Analyse des besoins des élèves non et mal voyants en matière d'interaction avec des manuels scolaires numériques |
| Langue d'élaboration | Français |
| Type de Public cible | Acteurs de terrain (transcripteurs, enseignants spécialisés, formateurs d'enseignants spécialisés, etc.), professionnels de l'édition et de la conception de documents et la communauté du handicap (élèves mal et non voyants et leurs familles), les partenaires du projet |
| Canaux de diffusion | Une diffusion libre sur les réseaux sociaux (comptes Facebook et Twitter dédiés au projet) et via différents relais (Newsletter ICEVI-Europe, GPEAA, GRHAPES, etc.) est prévue pour la rentrée 2022. Le document a été transmis sous différents formats de fichier (.doc, .pdf) pour garantir la compatibilité avec différentes technologies d'assistance. L'adaptation braille n'a pas pu être réalisée. |

| | |
|-------------------|---|
| Format du support | Rapport écrit |
| Objectif | Compléter la documentation existante (par ex, le guide de bonnes pratiques A2RNE - Accessibilité et adaptabilité des ressources numériques pour |



| | |
|----------------------|--|
| | l'École) pour fournir des repères opérants pour la conception des manuels scolaires numériques |
| Contenu | Recommandations pour la conception de manuel scolaires numériques accessibles |
| Langue d'élaboration | Français |
| Type de Public cible | Acteurs de terrain (transcripteurs, enseignants spécialisés, formateurs d'enseignants spécialisés, etc.), professionnels de l'édition et de la conception de documents et la communauté du handicap (élèves mal et non voyants et leurs familles), les partenaires du projet |
| Canaux de diffusion | Diffusion sur le compte Facebook dédié au projet et via différents relais (GPEAA, partenaires du projet, etc.) |



IX. Evaluation

Nous proposons d'évaluer le projet au regard 1. des études prévues, 2. des résultats espérés au regard des questions investiguées en lien avec les objectifs du projet, 3. de la démarche ambitionnée au départ, 4. Des actions de valorisation scientifique et auprès des acteurs de terrain et du grand public réalisées.

Ainsi, l'état des lieux relatif à l'**accessibilité des contenus pédagogiques pour les élèves en situation de handicap visuel** a été réalisé selon les modalités prévues : état de l'art, entretiens semi-directifs avec des élèves en situation de handicap visuel et des professionnels de terrain (enseignants-spécialisés et AESH), observations filmées d'élèves mal et non-voyants en situation d'apprentissage à partir de documents (en classe ou au sein du lieu ressource de l' IJA et du CIVAL), et des guides/principes d'adaptation et de conception utilisés. Seule l'analyse des documents pédagogiques originaux et des adaptations réalisées (numériques ou papier) n'a pas été conduite car elle n'était pas directement utile aux questions investiguées. Cette étude a permis d'aboutir à une vue d'ensemble du contexte actuel de l'accessibilité des documents pédagogiques pour l'apprentissage des élèves présentant une déficience visuelle en Suède et en France, à la fois du point de vue des pratiques et des usages de terrain et un repérage des enjeux et outils scientifiques associés à la problématique.

Concernant l'étude 2 portant sur l'analyse des besoins des élèves présentant une déficience visuelle en matière d'interaction avec des manuels scolaires numériques, les objectifs sont non seulement atteints mais aussi dépassés puis qu'en sus de l'étude des retours d'expérience d'élèves non- et malvoyants sur le manuel numérique et des tests d'utilisabilité, une analyse fondée sur une inspection ergonomique au regard de 2 référentiels ainsi qu'une enquête par questionnaire administrée au plan national ont été réalisées. Les résultats obtenus et leur analyse croisé ont une forte valeur d'usage puisqu'ils ont permis un repérage des besoins rencontrés par les élèves non- et malvoyants lorsqu'ils doivent apprendre à partir d'un manuel numérique. Les besoins identifiés ont été catégorisés, priorisés pour se constituer en set de recommandations. Les résultats ont fait l'objet d'opérations de diffusion auprès de la communication scientifique mais aussi auprès des professionnels, notamment les auteurs et concepteurs de manuels scolaires.

Concernant l'étude 3 consacrée à la conception et au développement de principes et solutions d'accessibilité, comme prévu, nous avons conçu et développé plusieurs solutions innovantes d'accessibilité sous la forme de prototypes. Au plan de la démarche, nous avons prévu des temps de co-créativité avec les utilisateurs finaux mais les résultats aux études précédentes ont permis d'objectiver des besoins de façon suffisamment claire et fiable pour étayer les choix de conception.

Concernant l'étude 3 consacrée à l'évaluation empirique des solutions conçues, nous avons pu réaliser l'étude expérimentale prévue auprès d'élèves malvoyants et avons eu la chance d'obtenir des résultats très tranchés en faveur de l'efficacité des solutions testées.

De plus, les résultats à cette étude sont très encourageants car 1. Les bénéfices observés pour les solutions conçues par rapport à l'existant permettent aux élèves malvoyants de manifester des temps de réalisation des tâches équivalents à ceux observés pour les élèves voyants, ce qui revient à réduire les inégalités observées dans le cadre du test d'utilisabilité des manuels scolaires numériques impliquant des élèves voyants et malvoyants ; et 2. Les principes mobilisés pour designer les solutions d'accessibilités sont réputés être efficaces pour les élèves en général dans la littérature sur l'apprentissage multimédia. Ainsi, nos solutions d'accessibilité relèvent de l'accessibilité dite universelle et devrait bénéficier à tous les élèves en général ; 3) les principes exploités ne sont pas spécifiques à la conception de manuels scolaires numériques mais peuvent aussi être utiles pour les ressources pédagogiques multimédia en général, qu'elles soient papier ou numériques. Ainsi, les résultats dépassent largement le périmètre prévu. Cependant, dans le projet initial, il était prévu de mener ces analyses auprès d'élève non-voyants et malvoyants mais l'inaccessibilités des manuels scolaires numériques pour les élèves non-voyants n'a pas permis de mener à bien ces analyses.

Au plan de la démarche, comme indiqué dans la partie I, la démarche participative a pu être mise en œuvre grâce à la mobilisation des acteurs de terrain et des chercheurs impliqués dans le projet. Si l'implication des élèves non-voyants et malvoyants prévue au départ dans le cadre de techniques de conception participative n'a pas pu se concrétiser pour diverses raisons (faible disponibilité des élèves liée à une sursollicitation couplée à une fatigue chronique, crise sanitaire et confinements), leur implication dans les études comportementales s'est révélée plus forte qu'espérée, ce qui a permis d'aboutir à des conclusions claires sur leurs besoins qui ont pu étayer les choix de conception.

Au plan de la **valorisation scientifique**, un bilan du projet ACCESS-Man est présenté ci-dessous.

| Type d'actions | Intitulé/référence |
|--|---|
| 2 Publications dans des revues à comité de lecture | <ul style="list-style-type: none"> • Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2019). L'accessibilité des manuels scolaires numériques – L'exemple suédois, entre édition adaptée et édition inclusive. <i>Nouvelle Revue – Education & Sociétés Inclusives</i>, 87, 13-28. • Castillan, L., Lemarié, J. & Mojahid, M. (2018). Ressources pédagogiques numériques : quelle accessibilité pour les élèves avec déficience visuelle ? <i>Education & Formation</i>, 311, p. 89-100. Numéro thématique : Usages du numérique et situation d'autonomie réduite |
| Conférences invitées | <ul style="list-style-type: none"> • Castillan, L., Lemarié, J. & Mojahid, M. (2018). Manuels scolaires numériques : quelle accessibilité ? <i>Journées des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication, Table ronde sur l'accessibilité native</i>, Paris, 03-04 décembre. • Lemarié, J. & Castillan, L. (2022). L'accessibilité des manuels scolaires numériques pour les élèves présentant des troubles des fonctions visuelles. Journée d'étude : Accessibilité numérique et enseignement supérieur, Tours, 16 juin. |

| | |
|--|--|
| <p>12 Communications orales dans des congrès internationaux et nationaux</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2017). Améliorer l'accessibilité des manuels scolaires numériques pour les élèves présentant un handicap visuel. <i>In Actes du colloque EPIQUE</i>, (pp. 25-31), Dijon. • Castillan, L., Lemarié, J. & Mojahid, M. (juillet 2017). <i>Accès aux contenus pédagogiques : le cas des élèves présentant un handicap visuel</i>. Poster présenté à Epique 2017, Dijon. • Castillan, L., Lemarié, J. & Mojahid, M. (juin 2017). Accessibilité des contenus pédagogiques numériques pour les élèves en situation de handicap visuel inclus en classe ordinaire. Paper presented at the colloque Numaccess 2017, Nantes. • Castillan, L., Lemarié, J. & Mojahid, M. (2018, April). <i>Digital, visual impairment and accessibility of learning</i>. Paper presented at the Nordisksynkongress, Stockholm, Sweden. • Castillan, L., Lemarié, J. & Mojahid, M. (avril 2018). <i>Entre adaptation et accessibilité native des manuels scolaires numérique : l'exemple de la Suède</i>. Paper presented at the Colloque international Regards croisés sur l'éducation inclusive et les technologies numériques, Strasbourg. • Castillan, L., Camilli, F., Lemarié, J. & Mojahid, M. (2018, September). <i>Learning with a digital textbook: a comparison between visually impaired and sighted students</i>. Paper presented at the Cognitive Load Theory Conference, Beijing, China. • Castillan, L., Lemarié, J. & Mojahid, M. (avril 2018). Outils numériques, handicap et accessibilité des apprentissages : le cas des élèves présentant une déficience visuelle. Paper presented at the RJC EIAH'2018, Besançon. • Castillan, L., Lemarié, J. & Mojahid, M. (juillet 2019). Acceptabilité des manuels scolaires numériques par les élèves avec un trouble des fonctions visuelles. Paper presented at the AREF 2019, Bordeaux. • Castillan, L., Camilli, F., Lemarié, J. & Mojahid, M. (2019, August). <i>Accessibility, usability and acceptability of digital textbooks for visually impaired students</i>. Paper presented at the EARLI conference 2019, Aachen, Germany. • Castillan, L., Camilli, F., Lemarié, J. & Mojahid, M. (2020). <i>Accessibility, usability and acceptability of digital textbooks: comparison between visually impaired and sighted students</i>. Paper presented at the World Blindness Summit 2020, Madrid, Spain⁹ • Lemarié, J., Castillan, L. & Mojahid, M. (soumis). Are multimedia learning principles useful to improve accessibility of digital textbooks for partially sighted students? <i>14th International Cognitive Load Theory Conference</i>. |
| <p>3 Communiqués à des journées d'études</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Castillan, L., Camilli, F., Lemarié, J. & Mojahid, M. (2019). Caractérisation des usages numériques chez les élèves |

⁹ Cette communication a été acceptée mais n'a pas pu avoir lieu en raison de l'annulation de la conférence pendant la crise sanitaire

| | |
|---|---|
| | <p>déficients visuels. <i>Journée Scolarisation des élèves déficients visuels</i>, Suresnes, 8 février.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Castillan, L., Camilli, F., Lemarié, J. & Mojahid, M. (2018). Le manuel scolaire numérique : quelle accessibilité ? <i>Après-midi thématique Apprentissage, Handicap Visuel et Accessibilité numérique</i>. Toulouse, 15 novembre. • Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2019, 14-25 juin). <i>Numérique et inclusion scolaire. Journée Tablettes tactiles et éducation : apprentissage, pédagogie, acceptabilité</i>. Toulouse, France ; https://www.youtube.com/watch?v=qdXcAU7eGtK&t=1001s |
| Communications orales dans des Séminaires internes | <ul style="list-style-type: none"> • Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2018, 3 mai). <i>Améliorer l'accessibilité des manuels scolaires numériques pour les élèves déficients visuels</i>. Séminaire de l'axe 3 laboratoire CLLE-LTC. Toulouse, France. • Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2018, 3 mai). <i>Améliorer l'accessibilité des manuels scolaires numériques pour les élèves déficients visuels</i>. Séminaire de l'équipe ELIPSE de l'IRIT, Toulouse, France. |
| Organisation de 2 symposia avec des collègues du Grhapes | <ul style="list-style-type: none"> • Symposium consacré à la thématique « Outils numériques, handicap et accessibilité des apprentissages : le cas des élèves avec handicap visuel. 7èmes rencontres jeunes chercheurs (RJC) en EIAH, Besançon, 2018. https://eiahdv2018.wordpress.com. • Symposium consacré à la thématique « Les outils d'aide à l'apprentissage pour les élèves avec un trouble des fonctions visuelles, entre utilisation et instrumentalisation ». AREF 2019, Bordeaux, 3-5 juillet 2019. |
| Rédaction et soutenance de l'une thèse de doctorat en psychologie | Castillan, L. <i>Améliorer l'accessibilité des manuels scolaires pour les élèves déficients visuels</i> . Thèse de doctorat, Université de Toulouse, juin 2020 |

Au plan de la **diffusion des résultats vers les professionnels et le grand public**, un bilan des actions réalisées dans le cadre du projet ACCESS-Man est présenté ci-dessous¹⁰.

| Type d'actions | Intitulé | Public visé |
|-----------------------------|--|---|
| Organisation de 2 workshops | « Apprentissage, Handicap Visuel et Accessibilité numérique » à l'IJA de Toulouse ; Novembre 2018, cf. programme an annexe ; capture vidéo diffusée sur Youtube https://www.youtube.com/watch?v=Zxwo0cce2oI relayée sur les comptes Facebook et twitter du projet (552 vues au 10/07/2022). | Professionnels du handicap visuel enseignants spécialisés, responsables de structures, transcrip-teurs, famille d'élèves atteints de troubles de la vision, chercheurs, etc.) et chercheurs |

¹⁰ Il ne s'agit pas des supports d'application qui sont présentés à part dans une autre section.

| | | |
|----------------------------|---|---|
| | <p>« Déficience visuelle, éducation et numérique » avec 6 interventions :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mulet, J. Le rôle des technologies numériques dans les apprentissages chez les élèves souffrant d'un trouble de la fonction visuelle. • Fruet, A. L'accessibilité numérique confrontée aux pratiques du Graphisme. • Boulade, L. & Mulet, J. Rendre les dessins en relief interactifs pour améliorer les apprentissages des élèves souffrant d'un trouble de la fonction visuelle. • Castillan, L. L'accessibilité des manuels scolaires numériques pour les élèves malvoyants. • D. Valente & S. Blain. Accessibilité des livres illustrés : résultats d'une expérimentation basée sur un livre multisensoriel et la tablette numérique. • C. Masclé, Des pictogrammes tactiles affichables sur des tablettes à picots mobiles pour l'illustration de livres. <p>Colloque Inaugural de la Chaire Handicap, Education & Numérique, INSHEA, Suresnes, octobre 2021.</p> | Chercheurs, des professionnels du handicap, des étudiants |
| 6 Communications orales | Castillan, L., Lemarié, J. & Mojahid, M. (2018). Manuels scolaires numériques : leviers ou obstacles à l'inclusion des élèves déficients visuels? <i>Journée thématique du GPEAA (Groupement des Professeurs et Éducateurs d'Aveugles et d'Amblyopes)</i> , Paris, 11-12 octobre. | Professionnels du handicap visuel |
| | Apérosociétés, événement organisé par le Laboratoire Cherchons pour voir (IJA/IRIT), Toulouse, le 15 octobre 2018 | Grand public, familles et enfants déficients visuels |
| | Castillan, L., Lemarié, J. & Mojahid, M. (2018, 13 décembre). <i>Améliorer l'accessibilité des contenus pédagogiques pour les élèves déficients visuels</i> . Université fédérale de Toulouse. Toulouse, France. | Doctorants de l'université de Toulouse |
| | Soirée consacrée au thème « Pédagogie et numérique » ¹¹ . Festival Pint of Science, Toulouse, 22 mai 2019. | Grand public |

¹¹ Pour plus d'informations, voir ici : <https://pintofscience.fr/event/pdagogie-et-numrique>



| | | |
|--------------|--|---|
| | https://pintofscience.fr/event/pdagogie-et-numrique | |
| | Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2019, 1 ^{er} décembre). <i>Accessibilité des manuels scolaires numériques pour les enfants avec trouble de la fonction visuelle</i> . 80 ans du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) au Muséum de Toulouse. Toulouse, France. | Grand public |
| | Journée de rencontres des laboratoires du Toulouse Mind & Brain Institute, Semaine du Cerveau, Toulouse, mars 2022. Diffusion de la vidéo de présentation du projet ACCESS-MAN | Grand public |
| 2 Interviews | « l'accessibilité numérique des manuels scolaires pour les enfants malvoyants » Publiée sur le site des Lettres numériques et le site ActuaLitté ; https://www.lettresnumeriques.be/tag/lae-titia-castillan/ | Grand public |
| | Publiée dans la newsletter du EARLI SIG 15 : http://earli.org/sites/default/files/2021-10/Volume%20EARLI%20SIG%2015%20Newsletter%20December%202019_0.pdf | Chercheur, des praticiens, des associations, des organisations caritatives du monde entier qui s'intéressent à l'éducation et à l'inclusion des personnes ayant des besoins éducatifs spéciaux de tous âges |
| 2 Formations | « Accompagnement des personnes en situation de dépendance » | Etudiants du master Psychologie Clinique de la Santé (Institut Catholique de Toulouse) |
| | « Accessibilité numérique et handicap visuel » | Etudiants du master Ergonomie Cognitive, Innovations Technologiques et Facteurs Humains (Université de Toulouse) |

X. Conclusion

Une première contribution de cette recherche est de fournir une image de la situation actuelle en matière d'accessibilité pédagogique numérique pour les élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle. Une telle image n'existait pas dans la littérature, alors qu'elle est constituée dans le champ de l'accessibilité web (Giraud, 2014 ; Giraud et al., 2015, 2018). Nos travaux ont permis d'aboutir à une caractérisation des besoins des élèves aveugles et malvoyants utiles pour les professionnels qui accompagnent ces élèves (enseignants « ordinaires », spécialisés, ...). Par exemple, la comparaison des modèles français et suédois en matière d'accessibilité des manuels scolaires numériques apportent des éléments de réflexion pour faire évoluer les pratiques des professionnels de l'adaptation.

Une seconde contribution concerne la **réalisation d'études empiriques portant sur l'apprentissage multimédia chez des élèves malvoyants**. A notre connaissance, hormis les travaux de Evans (Evans, 2002; Evans & Douglas, 2008) auprès d'étudiants à l'université, il n'existait pas de tels travaux. Au plan théorique, nos résultats ont montré que **la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2014) et la théorie de la charge cognitive (Sweller, 2011) sont des outils conceptuels utiles et fructueux** pour analyser les difficultés rencontrées par les élèves malvoyants et y remédier. Ainsi, nos travaux ont montré que le champ d'application de ces théories pouvait être étendu au cas des élèves à besoins éducatifs particuliers. Toutefois, nos travaux ayant souvent combiné plusieurs principes de conception multimédia, il serait utile de poursuivre le travail engagé en analysant plus systématiquement les phénomènes identifiés dans le champ de l'apprentissage multimédia chez des élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle.

Le projet ACCESS-MAN a également permis de **fournir des recommandations concrètes utiles à la communauté des professionnels de l'édition scolaire numérique pour améliorer l'accessibilité des manuels scolaires numériques**. Soulignons que ces recommandations ne prônent pas le recours à des formats de présentation spécifiquement dédiés aux élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle mais s'appuient sur des principes réputés également bénéfiques pour les élèves tout-venant. Ceci est compatible avec l'approche de l'accessibilité prônant une conception universelle (Vanderheiden & Jordan, 2012). Si les nouveaux formats de présentation que nous recommandons combinent des principes déjà connus dans la littérature, notons qu'ils constituent une véritable innovation pour la conception de manuels scolaires numériques puisqu'ils supposent d'envisager le manuel non plus comme une ressource pédagogique constituée de doubles pages figées mais plutôt comme une base de données de contenus multimédia filtrables et combinables en fonction de la tâche à réaliser par l'élève.

Pour conclure, les travaux réalisés ont permis de montrer à la fois **les progrès qu'il reste à accomplir** en matière de conception de manuels scolaires numériques



ergonomiques et accessibles mais aussi **le potentiel du numérique pour réduire les barrières d'accès** grâce à des fonctionnalités intégrées utiles pour répondre aux besoins éducatifs des élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle.



Annexes

Annexe 1 : Texte du contenu de la vidéo de présentation du projet

Le projet Access-man vise à améliorer l'accessibilité des manuels scolaires numériques pour les élèves déficients visuels.

Depuis plusieurs années, il y a eu d'importantes évolutions législatives pour les élèves en situation de handicap. Auparavant scolarisés dans des instituts spécialisés, la plupart des élèves sont aujourd'hui inclus dans des établissements ordinaires.

Si, évidemment, l'inclusion constitue une avancée remarquable, celle-ci soulève de nombreuses questions dont la garantie de l'égalité des droits et des chances. Aussi de nombreuses mesures spécifiques sont mises en place afin de rendre l'environnement plus compatible avec les besoins spécifiques des élèves. Les élèves ont par exemple à disposition des équipements particuliers, ils peuvent disposer de davantage de temps lors des examens et ont la possibilité d'avoir une assistante de vie scolaire qui les accompagnent sur les temps scolaires.

Parallèlement, dans de nombreux pays, les politiques cherchent à promouvoir l'usage du numérique pour l'éducation. De nouveaux outils et ressources pédagogiques font donc leur apparition dans les salles de classes : par exemple, les tableaux interactifs, l'environnement numérique de travail ou encore les manuels scolaires numériques.

La plupart de ces outils ou ressources numériques sollicitent grandement la modalité sensorielle visuelle : ils sont pensés pour être vus. Or, les élèves déficients visuels doivent accéder à ces contenus pédagogiques en utilisant d'autres modalités sensorielles (l'ouïe et/ou le toucher), ce qui suppose de transformer ces documents et/ou d'y accéder par une technologie d'assistance. Par exemple un lecteur d'écran permet d'oraliser des contenus mais aussi de les transformer en caractères braille.

Le projet Access-man vise à améliorer l'accessibilité des manuels scolaires numériques pour les élèves déficients visuels.

Pour ce faire, plusieurs étapes seront nécessaires. Il faut

- identifier les difficultés que rencontrent les élèves déficients visuels lorsqu'ils interagissent avec les manuels scolaires.
- Comprendre les causes de ces difficultés ainsi que les stratégies mises en place par les élèves pour y faire face.
- Identifier les conséquences de ces difficultés sur les apprentissages.

Ces difficultés peuvent être de plusieurs ordres. Une première catégorie renvoie aux difficultés techniques (p. ex : les technologies d'assistances et les manuels numériques ne sont pas toujours compatibles).

Une seconde catégorie de difficultés renvoie à la transposition de l'information visuelle dans une autre modalité sensorielle. En milieu scolaire, les enseignants ont besoin d'utiliser des représentations graphiques complexes. Un élève voyant pourra appréhender globalement d'un seul coup d'œil ce contenu. Pour un élève aveugle, l'accès à l'information nécessitera de transformer le contenu en une description auditive ou un



dessin en relief que l'élève explorera de façon séquentielle. Ceci impose pour l'élève des efforts supplémentaires qui peuvent le détourner des apprentissages.

Le projet Access Man tente de relever un défi de taille au niveau scientifique : concevoir des méthodes d'accès non visuelle à l'information qui soient efficaces et acceptables pour les élèves et leurs accompagnants. Pour ce faire, une approche interdisciplinaire mêlant psychologie cognitive des apprentissages, ergonomie cognitive, informatique et interaction homme-machine est privilégiée.

Les retombées attendues se situent à plusieurs niveaux : améliorer la conception des manuels scolaires numériques, fournir des retours sur les usages pour les professionnels ainsi qu'un accompagnement dans le changement des pratiques et, une avancée dans les connaissances scientifiques relatives aux apprentissages chez les élèves déficients visuels. Le consortium du projet comporte trois laboratoires : le CLLE, l'IRIT et le GRHAPES dont la complémentarité permet de développer une approche pluri, voire interdisciplinaire. Il implique également deux établissements accompagnant des élèves déficients visuels, l'institut des Jeunes Aveugles de Toulouse et le CIVAL Lestrade de Ramonville dont la participation est indispensable pour assurer la dimension participative du projet. Les éditions Nathan mettent à la disposition du consortium leur expertise en matière de conception des manuels scolaires numériques. La médiathèque de Toulouse et le Conseil International pour l'Éducation et la Réadaptation des Personnes Déficiantes Visuelles en Europe nous permettent de diffuser les savoirs issus du projet à différentes échelles. L'Agence Nationale pour l'apprentissage des élèves à besoins spécifiques de Suède (SPSM) met à notre disposition son expertise précieuse pour le projet en matière d'adaptation numérique des manuels scolaires.

Enfin, le projet bénéficie du soutien financier de plusieurs partenaires : l'Université Fédérale de Toulouse, la Région Occitanie et La Fondation Internationale de la Recherche Appliquée sur le handicap.

Si vous êtes intéressés par ce projet, n'hésitez pas à nous suivre sur notre Facebook et compte twitter. Vous pouvez aussi nous contacter à l'adresse suivante : laetitia.castillan@univ-tlse2.fr



Annexe 2 : Contenu textuel de la vidéo de synthèse sur les difficultés des élèves déficients visuels en matière d'accessibilité pédagogique

Aujourd'hui, en France, plus de 80% des élèves présentant un trouble des fonctions visuelles, qu'ils soient aveugles ou mal voyants, sont inclus dans les établissements scolaires ordinaires. Parallèlement, l'utilisation du numérique dans ces établissements a vocation à s'intensifier progressivement.

Ces 2 constats conduisent à s'interroger sur le rôle que vont jouer les supports et outils numériques dans les apprentissages des élèves en situation de handicap. Vont-ils se constituer en difficultés supplémentaires pour ces élèves ou au contraire permettre de lever des barrières et de gagner en autonomie ?

Dans le projet ACCESSMAN, nous cherchons à étudier la façon dont les élèves aveugles ou malvoyants interagissent avec les manuels scolaires numériques afin de proposer ensuite des recommandations pour améliorer leur accessibilité.

Avant d'étudier si et comment des élèves aveugles ou malvoyants peuvent apprendre à partir d'un manuel scolaire numérique, examinons déjà comment les élèves en situation de handicap visuel font pour accéder aux contenus pédagogiques papier dans le cadre de leur scolarité.

1. Un premier moyen d'accès est l'adaptation du document. Par exemple, pour un élève aveugle, le document est transformé en braille. S'il y a des figures considérées comme importantes dans ce document, elles peuvent être imprimées en relief. Pour un élève malvoyant, le document peut être agrandi.
2. Un deuxième moyen d'accès est par une technologie d'assistance. Si le document de départ est disponible sous une version numérique compatible avec les technologies d'assistance, alors un élève aveugle peut accéder au contenu du document grâce à un lecteur d'écran. Un lecteur d'écran est une technologie d'assistance qui permet de transformer automatiquement du contenu écrit en discours oral ou en information tactile sur une plage braille. Un élève malvoyant pourra lui accéder au contenu du document numérique en utilisant une application ou une fonctionnalité qui permet de zoomer sur l'information au niveau souhaité.

Des travaux ont montré que l'accès au document pédagogique par une technologie d'assistance est plus efficace que l'accès permis par une adaptation papier, notamment en termes d'autonomie de l'élève mais les élèves en situation de handicap sont un peu réticents à utiliser ces technologies d'assistance en classe car elles les stigmatisent et ne sont pas toujours faciles à prendre en main.

Dans tous les cas, qu'il s'agisse d'une adaptation ou d'une transformation par une technologie d'assistance, accéder auditivement ou tactilement à un texte présente des particularités par comparaison à un accès visuel : l'accès à l'information est plus lent et demande plus d'effort au niveau mental. Pour les élèves malvoyants, l'accès reste visuel mais en raison de l'agrandissement, il est partiel, morcelé et séquentiel. C'est comme si au

lieu de voir toute une page dans sa globalité, on ne pouvait la découvrir que par coups de projecteur successifs.

Néanmoins, les élèves qui ont un trouble des fonctions visuelles développent des stratégies efficaces pour surmonter ces difficultés, notamment au niveau attentionnel. Par exemple, de nombreux élèves aveugles sont capables de comprendre un discours lu à une vitesse très élevée, incompréhensible pour une oreille non entraînée, ce qui leur permet de se rapprocher de la vitesse de lecture de l'écrit.

Les élèves malvoyants, eux, sont très performants pour exploiter efficacement les informations agrandies grâce à des stratégies de reconstruction permanente du tout auquel ils accèdent séquentiellement.

Malgré ces stratégies de compensation, les élèves en situation de handicap visuel rencontrent des limitations d'accès aux contenus pédagogiques qui conduisent à des temps d'apprentissages plus longs, des performances scolaires parfois diminuées et surtout, une fatigue importante. Parfois, les élèves ne peuvent carrément pas accéder aux contenus pédagogiques. Ces difficultés ont des conséquences évidemment aux plans émotionnel et social.

Alors, revenons à notre question de départ : Est-ce que les manuels scolaires numériques permettent justement aux élèves en situation de handicap visuel d'accéder mais aussi de traiter et d'interagir efficacement avec l'information ?

D'abord, qu'est-ce qui différencie un manuel scolaire numérique d'un manuel scolaire papier ? Un manuel scolaire numérique se présente souvent comme un manuel papier sous la forme d'une série de doubles pages mais ce n'est pas seulement une version dématérialisée d'un manuel scolaire papier ; il peut intégrer par exemple des vidéos, des fichiers audio mais aussi des fonctionnalités propres au numérique : par exemple la navigation par des liens hypertexte, des outils d'agrandissement des contenus ou encore des fonctionnalités permettant d'interagir avec les contenus comme annoter, surligner, écrire.

Ces spécificités sont-elles utiles pour les élèves en situation de handicap visuel ? ou au contraire s'érigent-elles en obstacles supplémentaires ?

Pour répondre à ces questions, nous avons réalisé plusieurs études auprès d'élèves en situation de handicap visuel pour recueillir leurs usages et leurs perceptions des manuels scolaires numériques.

Nos travaux ont montré que pour l'instant, les manuels scolaires numériques ne sont pas compatibles techniquement avec les lecteurs d'écran utilisés par les élèves aveugles, ce qui pose d'emblée un problème d'accès. Cependant, ce point devrait être résolu à court ou moyen terme.

Du côté des élèves malvoyants, ce qui ressort de nos études, c'est que ces élèves perçoivent plutôt positivement les manuels scolaires numériques. Ils trouvent notamment que le zoom intégré dans le manuel est très pratique. Cependant, ils trouvent aussi que ces manuels numériques ne sont pas toujours faciles à utiliser en raison de



l'organisation des informations en double page. De plus, ils éprouvent un peu d'anxiété à les utiliser car ils craignent des problèmes techniques qui pourraient accentuer leurs difficultés au quotidien. D'ailleurs, dans les faits, ils utilisent assez peu les manuels scolaires numériques et lorsqu'ils les utilisent, ils exploitent assez peu leurs fonctionnalités.

Dans une autre étude, nous avons demandé à des élèves malvoyants d'utiliser un manuel scolaire numérique pour effectuer des tâches d'apprentissage afin d'analyser leurs difficultés d'utilisation et nous les avons comparées à des élèves qui n'ont pas de handicap visuel.

Les résultats ont montré que les élèves malvoyants rencontrent des difficultés plus importantes que les élèves voyants, difficultés qui se traduisent par des temps de réalisation des tâches allongés, un effort mental plus élevé, voire des échecs par abandons. Plusieurs éléments expliquent ces difficultés.

Le premier est l'organisation des informations sur la double page : imaginons un exercice de français qui consiste répondre à des questions sur un poème en inscrivant ses réponses dans le MSN. Un élève voyant pourra facilement aller et venir entre le poème, les questions et la zone de réponse, même si elles sont éloignées sur la double page. L'élève malvoyant, lui, en zoomant sur une zone précise va devoir réaliser un nombre conséquent d'aller-retours et maintenir une quantité importante d'informations en mémoire pour pouvoir combiner mentalement les différentes sources d'information.

Un deuxième élément concerne la surcharge informationnelle dans les manuels scolaires numériques et la présence de contenus esthétiquement agréables mais peu utiles pour apprendre. Pour les élèves malvoyants, la présence de ces éléments aggrave leurs difficultés, notamment parce qu'ils augmentent la nécessité de naviguer.

Les solutions pour pallier ces 2 problèmes sont d'éliminer toutes les informations non pertinentes pour les apprentissages, d'abandonner l'organisation en double page en privilégiant une organisation des informations qui rapproche entre elles les informations utiles à la tâche d'apprentissage et de permettre un accès multimodal à l'information.

Un troisième élément concerne des difficultés liées à la navigation dans le document, par exemple lors de la recherche d'informations. Notre étude a montré qu'il était essentiel que le manuel scolaire numérique permette aux élèves malvoyants d'utiliser des stratégies de compensation en intégrant des fonctionnalités de navigation comme la recherche par mots clé ou les raccourcis clavier.

Nous avons évalué si ces principes de solution étaient efficaces en comparant différents formats de présentation de l'information dans un manuel scolaire numérique. Nos résultats montrent clairement que ces principes de solution atténuent les difficultés rencontrées par les élèves malvoyants mais sont aussi utiles en fait à tous les élèves.

En résumé, les manuels scolaires numériques actuels sont plutôt bien perçus par les élèves malvoyants mais ils ne parviennent pas encore à atténuer les difficultés que ces élèves rencontrent pour apprendre à partir de documents pédagogiques. Toutefois, lorsque les manuels scolaires numériques seront conçus en intégrant les besoins spécifiques des élèves en situation de handicap visuel, leurs fonctionnalités seront



précieuses : flexibilité dans la présentation, accès multimodal à l'information, possibilité de naviguer facilement, utilisation du même support pédagogique que les autres élèves de la classe.



Annexe 3 : Programme de la journée d'étude

Apprentissage, Handicap Visuel et Accessibilité numérique

Regards croisés

chercheurs et professionnels

Après-midi thématique organisé

**par le laboratoire Cognition, Langues, Langage et Ergonomie, (UMR
5263)**

et l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (UMR 5505)

Date : Jeudi 15 novembre 2018 de 13H30 à 19h

Lieu : Auditorium de l'Institut des Jeunes Aveugles, Toulouse ; 80 places ;
37, Rue Montplaisir. Stations métro : Ligne B, Palais de Justice ou François
Verdier

Public : chercheurs, professionnels du handicap visuel, éditeurs,
étudiants, etc.

Inscription gratuite mais obligatoire avant le 05/11/2018 en envoyant
un mail à laetitia.castillan@gmail.com

Cet événement est organisé dans le cadre du projet ACCESS-MAN
financé par la FIRA, l'Université de Toulouse et la Région Occitanie.



Programme

13H30-13H45 : Introduction

13h45-14h15 : La demande d'aide chez deux collégiens déficients visuels inclus en cours de mathématiques : une analyse de données filmées. *Gaborit, M., doctorant, GRHAPES, INSHEA.*

14h15-14h45 : Accessibilité et manuels scolaires numériques : états des lieux, contraintes et espoirs (le point de vue des Éditions Nathan). *Gasquet, C., Responsable de production numérique Nathan Primaire et Nathan Secondaire et Fortier S., chef de projet numérique - référente accessibilité SEJER.*

14h45-15h15 : Le manuel scolaire numérique : quelle accessibilité pour les élèves déficients visuels ? *Castillan, L., doctorante, CLLE-IRIT.*

15h15-15h45 : Pause café

15h45-16h15 : Édition adaptée, édition inclusive : enjeux et complémentarités. *Chomel, G., Concepteur développeur de livres imprimés et numériques, Editadapt, président du groupe DAISY France.*

16h15-16h45 : EPub 3 nativement accessible : bilan et perspectives par edrlab. *Pinto da Silva, F., expert accessibilité chez EDRLab.*

16h45-17h45 : Conférence plénière

Accès à la lecture et à l'écriture des jeunes déficients visuels : des besoins des élèves aux compétences des professionnels

Lewi-Dumont, N. Enseignante-chercheuse en Sc. du langage, GRHAPES, INSHEA, Représentante des pays francophones au bureau de l'ICEVI-Europe