



THÈSE

En vue de l'obtention du DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par l'Université Toulouse 2 - Jean Jaurès

Présentée et soutenue par
Laetitia CASTILLAN

Le 29 juin 2020

**Améliorer l'accessibilité des manuels scolaires pour les élèves
déficients visuels**

Ecole doctorale : **CLESCO - Comportement, Langage, Education, Socialisation,
Cognition**

Spécialité : **Psychologie**

Unité de recherche :
CLLE - Unité Cognition, Langues, Langage, Ergonomie

Thèse dirigée par
Julie LEMARIE et Mustapha MOJAHID

Jury

Mme Hélène Sauzèon, Rapporteur
M. Bruno De Lièvre, Rapporteur
M. André Tricot, Examineur
M. Fabrice Maurel, Examineur
Mme Julie Lemarié, Directrice de thèse
M. Mustapha Mojahid, Directeur de thèse

Remerciements

Mes premiers remerciements vont à vous, Julie Lemarié et Mustapha Mojahid. Merci de m'avoir fait confiance mais surtout de m'avoir accompagnée tout au long de cette thèse. J'espère sincèrement que nous aurons la possibilité de poursuivre cette belle collaboration.

Julie Lemarié et Hélène Eyrolle, cet engouement pour la recherche, c'est incontestablement à vous que je le dois. Votre encadrement pour mon mémoire de master 1 et les enseignements que j'ai suivis à vos côtés ont eu un rôle décisif dans mes choix d'orientation.

Je tiens à remercier Hélène Sauzéon, Bruno De Lièvre, André Tricot, Fabrice Maurel d'avoir accepté de participer au jury. Merci également à Philippe Tremblay et André Tricot d'avoir pris part à mon comité de suivi en milieu de thèse, vos conseils ont été précieux.

Cette thèse n'aurait pu être réalisée sans un maillage important avec les professionnels de terrain, qu'ils soient du monde associatif ou du monde de l'édition. Je tiens à remercier l'ensemble des professionnels, enseignants spécialisés et transpositeurs, avec lesquels j'ai échangé et travaillé. Un merci particulier aux enseignantes spécialisées de l'ASEI Lestrade et de l'Institut des Jeunes Aveugles de Toulouse qui m'ont accompagnée tout au long de ce projet. Merci également aux bordelais, aux angevins, aux lyonnais et aux mulhousiens pour leur accueil chaleureux (particulièrement en période de marché de Noël). Merci à Grégoire Denis. Rien de ce qui est présenté dans ce manuscrit n'aurait pu l'être sans votre implication. J'ai hâte de vous en faire la restitution !

Merci aux éditions Nathan et plus particulièrement à Corentine Gasquet et Sophie Fortier, pour m'avoir sensibilisée au monde de l'édition scolaire et m'avoir permis de rencontrer des professionnels avec lesquels partager mes résultats et mes questionnements.

Merci à Catarina Hägg, Carina Söderberg, Petter Lille et Björn Nyqvist de l'agence nationale pour l'apprentissage des élèves à besoins particuliers de Suède (SpecialPedagogiska SkolMyndigheten) pour leur aide précieuse.

Je tiens également à remercier les membres du Groupe de recherche sur le handicap, l'accessibilité, les pratiques éducatives et scolaires (Grhapes) de l'INSHEA : Nathalie Lewi-Dumont, Minna Puustinen et Mathieu Gaborit d'avoir contribué à la réflexion et l'organisation de symposium en lien avec cette thématique de recherche.

Merci à vous, que j'ai rencontrés au détour d'une conférence, nos échanges n'ont fait que nourrir ma curiosité : Ludovic Oger et Ludovic Bal (Réseau Canopé), Fernando Pinto Da Silva (Aveugles de France), Gauthier Chomel (Editadap) et Caroline Chabaud (Mes mains en or).

Lors de cette thèse, j'ai eu la chance de travailler avec deux étudiants : Marianne Sargent et Felix Camilli. Vous avez été des aides précieuses.

À mes camarades du CLLE, vous avez indéniablement rendu ce travail de thèse plus agréable par votre bonne humeur. Jeremy, Julie, Tania, Michel et Pierre-Vincent, je vous remercie de tout le soutiens que vous m'avez apporté ces dernières années, tant sur le plan émotionnel que scientifique.

Merci à ma famille d'accepter et de rire de l'éternelle étudiante que je suis. Promis après je travaille « pour de vrai ». ☺

Pour terminer, merci aux jeunes qui ont participé aux différentes études menées. Votre spontanéité et votre franchise était une vraie bouffée d'oxygène. Cette thèse a été réalisée grâce à vous et les résultats sont pour vous, pour améliorer votre prise en charge éducative. J'espère que ces travaux auront des conséquences concrètes sur votre quotidien d'élève.

Le projet de recherche associé à cette thèse a été financé par l'Université Fédérale de Toulouse Midi-Pyrénées et la région Occitanie. Elle a également bénéficié du soutien financier de la Fédération Internationale pour la Recherche Appliquée sur le Handicap dans le cadre du projet ACCESS-MANUEL.

Résumé

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 les solutions possibles pour y répondre. Il s'agit plus précisément d'étudier les caractéristiques spécifiques des modalités d'accès aux manuels scolaires numériques et multimédias par ces élèves et leurs conséquences sur les exigences cognitives associées à leur traitement pour concevoir et évaluer des principes de conception.

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 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 plus d'actions de navigation et davantage de partage attentionnel qu'à leurs pairs voyants, exigences mentales qui génèrent une augmentation de la charge mentale extrinsèque, et subséquentement 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. 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 séparé et unimodal.

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

Abstract

The objective of this research is to build up specific knowledge on the needs of students with visual impairment in terms of accessibility of digital textbooks and possible solutions to meet them. More specifically, the aim is to study the specific characteristics of the modalities of access to digital textbooks and multimedia by these students and their consequences on the cognitive requirements associated with their processing in order to design and evaluate design principles.

Several complementary studies have been carried out to analyse the needs of visually impaired students in terms of digital educational accessibility. Overall, the results indicate that blind students are currently unable to use digital textbooks for technical accessibility reasons. Even though visually impaired students can access digital textbooks and have a positive perception of them, in reality they rarely use them. This is due to difficulties related to the use of screen magnifying tools that do not easily accommodate the organization of information in a double-page format and the lack of multimodality. When carrying out tasks involving the digital textbook, the enlarged view imposes more navigation and more attentional sharing than their sighted peers. This mental demand generates an increase in extrinsic mental workload, and subsequently a greater number of dropouts, a deterioration in performance and longer completion times, compared with sighted students. To overcome this difficulty, a solution principle based on the principles of information integration and multimodality (Mayer, 2014) was evaluated experimentally. The results indicate benefits of the solution on goal attainment, completion time and performance measures, as well as on subjective perceptions, compared to the classical separate and unimodal format. These results make it possible to enrich both the research field of multimedia learning, which has given little consideration to the case of learners with disabilities, and to provide recommendations for the design of accessible digital textbooks.

This research has received financial support from the « Université Fédérale de Toulouse Midi-Pyrénées », the Occitanie Region and the « Fondation Internationale de la Recherche Appliquée sur le Handicap ».

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

Table des matières

REMERCIEMENTS	2
RESUME	4
ABSTRACT	5
PREAMBULE	11
INTRODUCTION GENERALE	14
Partie I – ÉTAT DE L’ART	18
CHAPITRE 1 LES RESSOURCES NUMERIQUES POUR L’EDUCATION	19
1. Une introduction progressive dans les établissements scolaires.....	19
2. Les apports et les limites du numérique pour l’éducation	20
3. L’exemple du manuel scolaire numérique	21
4. Les théories de l’apprentissage multimédia.....	24
4.1. La théorie de la charge cognitive.....	24
4.2. La théorie cognitive de l’apprentissage multimédia	26
4.3. Une limite des travaux sur l’apprentissage multimédia : des populations d’apprenants principalement tout-venant	29
CHAPITRE 2 TROUBLES DE LA FONCTION VISUELLE ET APPRENTISSAGES SCOLAIRES	31
1. Définition des troubles de la fonction visuelle.....	31
2. Évolution de la scolarisation des élèves avec trouble des fonctions des visuelles : de la ségrégation à l’inclusion.....	33
3. Les aides actuelles à la scolarisation des élèves atteints.....	38
3.1. Les aides humaines.....	38
3.2. Les aides organisationnelles.....	38
3.3. Les aides techniques.....	39
3.3.1. Les adaptations papiers et numériques	39
3.3.2. Le numérique pour l’éducation et les élèves à besoins particuliers.....	41
3.3.3. Tour d’horizon des aides techniques pour la scolarisation des élèves avec trouble de la fonction visuelle.....	42
3.3.4. Intérêts et limites des aides techniques pour la scolarisation des élèves avec trouble de la fonction visuelle	45
4. Spécificités des apprentissages scolaires chez les élèves atteints d’un trouble de la fonction visuelle.....	46
5. La théorie de l’apprentissage multimédia au regard des spécificités des élèves atteints de trouble de la fonction visuelle.....	48
5.1. L’effet multimédia.....	49
5.2. L’effet de l’attention partagée	50
5.3. L’effet de modalité	52
5.4. L’effet de signalisation.....	52

5.5. L'effet de l'information transitoire	55
5.6. L'effet de cohérence.....	55
CHAPITRE 3 L'ACCESSIBILITE NUMERIQUE	56
1. Accessibilité numérique : de quoi parle-t-on ?.....	56
2. L'accessibilité du web	57
2.1. Les normes d'accessibilité web	57
2.2. Les difficultés que rencontrent les utilisateurs atteints d'un trouble de la fonction visuelle lorsqu'ils utilisent internet.....	58
3. L'accessibilité numérique pédagogique	61
3.1. Présentation des A2RNE	61
3.2. Les difficultés spécifiques des élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle lors d'apprentissages impliquant le numérique.....	63
4. Une limite des recherches sur l'accessibilité numérique : des populations majoritairement non-voyantes	66
Partie II – L'ACCESSIBILITÉ DES RESSOURCES PÉDAGOGIQUES : UNE ANALYSE DE L'EXISTANT	67
CHAPITRE 1 ACCESSIBILITE DES RESSOURCES PEDAGOGIQUES EN CONTEXTE DE L'INCLUSION : UNE ETUDE EXPLORATOIRE DE TERRAIN	69
1. Méthode.....	69
2. Résultats.....	71
2.1. Description du procès d'adaptation des contenus pédagogiques en France	71
2.2. Comparaison des deux approches en matière d'adaptation des contenus pédagogiques.....	73
2.3. Modalités et difficultés d'accès aux ressources pédagogiques pour les élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle.....	73
2.3.1. Les types d'accès aux contenus pédagogiques.....	73
2.3.2. Les difficultés d'accès et de traitement des contenus pédagogiques	75
2.3.3. Les conséquences des difficultés d'accès aux contenus pédagogiques.....	76
CHAPITRE 2 INSPECTION ERGONOMIQUE D'UN MANUEL SCOLAIRE NUMERIQUE.....	78
1. Évaluation de la conformité aux critères de Bastien et Scapin (1993)	79
1.1. Méthodologie	79
1.1.1. Résultats	81
2. Évaluation de la conformité aux A2RNE.....	86
2.1. Méthodologie	86
2.2. Résultats	88
3. Conclusion et discussion	89
CHAPITRE 3 SYNTHSE DE L'ANALYSE DE L'EXISTANT ET HYPOTHESES	92
1. Les enjeux de l'accessibilité numérique pour les élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle.....	92
2. Les manuels scolaires numériques : un levier pour l'accessibilité des apprentissages pour les élèves avec troubles de la fonction visuelle ?.....	93

3. Hypothèses de recherche	96
Partie III – ANALYSE DES BESOINS DES ÉLÈVES AVEC TROUBLE DE LA FONCTION VISUELLE	98
CHAPITRE 1 RETOURS D’EXPERIENCES D’ELEVES PRESENTANT DES TROUBLES DE LA FONCTION VISUELLE QUANT A	
L’UTILISATION DE MANUELS SCOLAIRES NUMERIQUES	100
1. Enquête en ligne.....	100
1.1. Objectifs	100
1.2. Méthodologie	100
1.3. Résultats	101
2. Entretiens auprès d’un panel d’utilisateurs	104
2.1. Objectifs	104
2.2. Méthodologie	104
2.3. Résultats	107
3. Synthèse et discussion.....	110
CHAPITRE 2 TEST D’UTILISABILITE DU MANUEL SCOLAIRE NUMERIQUE AUPRES D’ELEVES VOYANTS ET MALVOYANTS	
112	
1. Objectifs	112
2. Méthodologie.....	113
2.1. Échantillon	113
2.2. Matériel.....	113
2.3. Procédure et tâches	116
3. Résultats.....	120
3.1. Analyses préalables	120
3.2. Phase de familiarisation.....	121
3.3. Résultats à la tâche d’appréhension de l’organisation générale	122
3.4. Résultats à la tâche de lecture-compréhension	122
3.5. Résultats à l’exercice interactif	124
3.6. Résultats à la tâche de recherche d’information.....	125
3.7. Résultats relatifs à la charge mentale.....	126
3.8. Résultats relatifs au sentiment d’auto-efficacité.....	127
3.9. Résultats relatifs à la désorientation	127
3.10. Résultats relatifs à la satisfaction	127
3.11. Résultats relatifs aux demandes d’aide.....	128
4. Discussion.....	128
CHAPITRE 3 DIFFICULTES ET BESOINS DES ELEVES AVEC TROUBLE DE LA FONCTION VISUELLE EN MATIERE	
D’ACCESSIBILITE NUMERIQUE.....	135
1. Les difficultés d’accès	135
1.1. Impossibilité d’accéder au manuel numérique et à l’application Bibliomanuel.	136
1.2. Difficulté liée à ou impossibilité d’accéder aux contenus visuels (incluant les textes, images et pictogrammes)	138
2. Les difficultés de traitement de l’information.....	140

2.1. Difficulté à percevoir la signalisation textuelle (indices typographiques et dispositionnels).....	140
2.2. Difficulté à repérer la structure générale du manuel scolaire	141
2.3. Difficulté à se repérer au sein de la page	142
2.4. Difficulté à traiter des informations éloignées spatialement	143
3. Difficultés à interagir	145
3.1. Difficulté à écrire dans le manuel	145
3.2. Difficulté à rechercher une information	147
4. Synthèse des difficultés lors de l'utilisation d'un manuel scolaire numérique et de leurs	
conséquences.....	148
4.1. Difficultés et besoins lors de l'utilisation d'un manuel scolaire numérique	148
4.2. Besoins plus généraux	149
4.2.1. Le besoin de sécurité	150
4.2.2. Le besoin de simplicité.....	150
4.2.3. Le besoin de « normalité »	151
Partie IV – CONCEPTION ET ÉVALUATION D'UN PRINCIPE DE SOLUTION	153
CHAPITRE 1 PRINCIPES DE SOLUTION ELABORES	154
1. Rapprocher les informations utiles à la tâche	154
2. Offrir un accès multimodal	158
CHAPITRE 2 ÉVALUATION DES PRINCIPES DE SOLUTION	159
1. Méthodologie.....	159
1.1. Échantillon	159
1.2. Matériel d'apprentissage utilisé.....	159
1.3. Descriptif des 3 versions du matériel d'apprentissage	161
1.4. Matériel utilisé pour le test de la solution	166
1.5. Procédure	166
1.5.1. Pré-questionnaire.....	167
1.5.2. Phases de familiarisation	167
1.5.3. Phase de test.....	167
1.5.4. Phase de Post-test.....	168
2. Résultats.....	168
2.1. Données descriptives.....	169
2.2. Familiarisation.....	170
2.3. Tâche de lecture-compréhension.....	170
2.3.1. Non atteinte du but des exercices de lecture-compréhension.....	170
2.3.2. Temps de réalisation des exercices de lecture-compréhension	170
2.3.3. Le nombre de demandes d'aide	170
2.3.4. Les performances à la tâche de lecture-compréhension.....	171
2.4. Évaluations subjectives.....	172
2.4.1. Facilité de transition	172
2.4.2. Facilité d'annotation.....	172

2.4.3. Classement des versions par ordre de préférence.....	173
2.4.4. Classement des versions pour une utilisation en classe.....	173
2.4.5. Classement des versions pour une utilisation à la maison	173
2.4.6. Classement des versions en fonction de leur satisfaction.....	174
2.4.7. Classement des poèmes en fonction de leur difficulté	175
2.4.8. Points positifs et négatifs rapportés par les élèves malvoyants pour chaque version	175
2.5. Synthèse des résultats.....	178
3. Discussion.....	178
4. Conclusion	183
Partie V – DISCUSSION GÉNÉRALE	184
CHAPITRE 1 RAPPEL DU CONTEXTE ET DES OBJECTIFS	185
CHAPITRE 2 CONTRIBUTIONS.....	186
1. Comment les élèves présentant un trouble de la fonction visuelle accèdent aux contenus pédagogiques numériques et interagissent avec eux ?.....	186
2. Quelles difficultés rencontrent les élèves malvoyants et non-voyants lors de l'utilisation d'un manuel scolaire numérique ? Quelles sont les causes de ces difficultés et leurs conséquences ?	188
3. Comment concevoir des manuels scolaires numériques qui répondent aux besoins des élèves présentant un trouble de la fonction visuelle ?	192
CHAPITRE 3 LIMITES	193
CHAPITRE 4 CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	194
BIBLIOGRAPHIE	196
ANNEXES	208
INDEX DES TABLEAUX	243
INDEX DES FIGURES	245

Préambule

Publications issues des travaux de la thèse

Articles à comité de lecture

Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2018). Ressources pédagogiques numériques : quelle accessibilité pour les élèves avec déficience visuelle ? *Éducation & Formation*, 311, 89-100. Numéro thématique : Usages du numérique et situation d'autonomie réduite.

Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2019). L'accessibilité des manuels scolaires numériques – L'exemple suédois, entre édition adaptée et édition inclusive. *Nouvelle Revue – Éducation & Sociétés Inclusives*, 87, 13-28.

Communications orales avec actes dans un congrès international ou national

Castillan, L., Camilli, F., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2020, 23 juin). *Accessibility, usability and acceptability of digital textbooks: Comparison between visually impaired and sighted students* [Communication orale]. World Blindness Summit 2020. Madrid, Espagne. (report 2021 pour cause de crise sanitaire).

Castillan, L., Camilli, F., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2019, 12-19 août). *Accessibility, usability and acceptability of digital textbooks for visually impaired students* [Communication orale]. 18^e édition de European Association for Research on Learning and Instruction (EARLI). Aachen, Allemagne.

Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2019, 3-5 juillet). Acceptabilité des manuels scolaires numériques par les élèves avec un trouble de la fonction visuelle. Dans *les outils d'aide à l'apprentissage pour les élèves avec un trouble de la fonction visuelle, entre utilisation et instrumentalisation* [symposium]. Congrès de l'Actualité de la Recherche en Education et Formation (AREF). Bordeaux, France.

Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2018, 2-5 avril). Outils numériques, handicap et accessibilité des apprentissages : le cas des élèves présentant une déficience visuelle. Dans *Outils numériques, handicap et accessibilité des apprentissages : le cas des élèves avec*

handicap visuel [symposium]. 7^e Rencontre des Jeunes Chercheurs en Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (RJC EIAH). Besançon, France.

Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2018, 4-6 avril). *Entre adaptation et accessibilité native des manuels scolaires numérique : l'exemple de la Suède* [communication orale]. Regards croisés sur l'éducation inclusive et les technologies numériques. Strasbourg, France.

Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2017, 4 juillet). *Accessibilité des contenus pédagogiques numériques pour les élèves en situation de handicap visuel inclus en classe ordinaire* [communication orale]. Doctoriales Epique. Dijon, France.

Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2017, 1er juin). *Accessibilité des contenus pédagogiques numériques pour les élèves en situation de handicap visuel inclus en classe ordinaire* [communication orale]. Numaccess. Nantes, France.

Communications orales sans actes dans un congrès international ou national

Castillan, L., Camilli, F., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2018, 4-0 septembre). *Learning with a digital textbook: A comparison between visually impaired and sighted students* [communication orale]. 11^e édition de International Cognitive Load Theory Conference (ICLTC). Beijing, Chine.

Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2018, 18-20 avril). *Digital, visual impairment and accessibility of learning* [communication orale]. Nordisksynkongress. Stockholm, Suède.

Communications affichées

Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2017, 4 juillet). *Accès aux contenus pédagogiques : le cas des élèves présentant un handicap visuel* [communication affichée]. Doctoriales Epique. Dijon, France.

Conférences invitées

Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2019, 14-25 juin). *Numérique et inclusion scolaire* [communication orale]. Journée Tablettes tactiles et éducation : apprentissage, pédagogie, acceptabilité. Toulouse, France.

Castillan, L., Camilli, F., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2019, 8 février). *Caractérisation des usages numériques chez les élèves déficients visuels* [communication orale]. Journée Scolarisation des élèves déficients visuels. Suresnes, France.

Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2018, 3-4 décembre). *Manuels scolaires numériques : quelle accessibilité ?* Dans *Accessibilité native* [table ronde]. Journées des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication. Paris, France.

Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2018, 11-12 octobre). *Manuels scolaires numériques : leviers ou obstacles à l'inclusion des élèves déficients visuels ?* [communication orale]. Journées du Groupement des Professeurs et Éducateurs d'Aveugles et d'Amblyopes. Paris, France.

Autres communications

Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2019, 1^{er} décembre). *Accessibilité des manuels scolaires numériques pour les enfants avec trouble de la fonction visuelle* [communication orale]. 80 ans du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) au Muséum de Toulouse. Toulouse, France.

Castillan, L., Lemarié, J. & Mojahid, M. (2018, 13 décembre). *Améliorer l'accessibilité des contenus pédagogiques pour les élèves déficients visuels* [communication orale]. Université fédérale de Toulouse. Toulouse, France.

Castillan, L., Camilli, F., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2018, 15 novembre). *Le manuel scolaire numérique : quelle accessibilité ?* [communication orale]. Journée Apprentissage, Handicap Visuel et Accessibilité numérique. Toulouse, France.

Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2018, 3 mai). *Améliorer l'accessibilité des manuels scolaires numériques pour les élèves déficients visuels* [communication orale]. Séminaire de l'axe 3 laboratoire CLLE-LTC. Toulouse, France.

Introduction générale

Le monde de l'éducation connaît des évolutions en permanence. Parmi elles, deux ont motivé les questions instruites dans ce travail de thèse : 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'Éducation 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-clés¹ 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. Cette année, en France, depuis le 17 mars 2020, 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. Le titre d'un article du journal Le Monde est éloquent³. Si les inégalités générées par l'appartenance socio-économique sont régulièrement pointées, qu'en est-il des élèves en situation de handicap ?

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

¹ <http://ecolenumerique.education.gouv.fr/retenir-plan-numerique> (consulté le 13-03-2020).

² <https://eduscol.education.fr/cid150633/principes-pour-la-continuite-pedagogique.html> (consulté le 04-05-2020)

³ « Coronavirus et enseignement à distance : entre augmentation des inégalités éducatives et transformation pédagogique », https://www.lemonde.fr/education/article/2020/03/17/coronavirus-et-enseignement-a-distance-entre-augmentation-des-inegalites-educatives-et-transformation-pedagogique_6033349_1473685.html (consulté le 18-03-2020)

⁴ <https://www.education.gouv.fr/1-etat-de-l-ecole-2019-11246> (consulté le 03-05-2020)

réalisé par la commission d'enquête sur l'inclusion des élèves handicapés dans l'école et l'université de la République⁵, 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, ce sont les élèves aveugles et malvoyants qui risquent de subir les plus grandes limitations d'activités si l'accessibilité de ces ressources n'est pas garantie. Or, 5 297 élèves présentant un trouble de la fonction visuelle étaient scolarisés en établissement ordinaire en 2019.

L'objectif que nous poursuivons dans cette thèse est de construire des connaissances spécifiques en matière d'accessibilité des ressources numériques pour l'éducation, en abordant le cas du manuel scolaire numérique, pour répondre aux besoins des élèves ayant un trouble de la fonction visuelle en tentant de 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 ?

Déjà en 2007, Tricot avait identifié des enjeux associés à cette thématique. Finalement s'il y a eu des travaux sur l'accessibilité web d'un côté (Giraud et al., 2018; Giraud, 2014) et l'ergonomie des manuels de l'autre (Malti, 2018), il n'existe pas, à notre connaissance, de travaux ayant couplé ces deux dimensions.

Au niveau théorique, ce travail de thèse vise l'enrichissement de deux champs d'étude jusqu'ici relativement indépendants : les théories de l'apprentissage multimédias et l'apprentissage chez les élèves en situation de handicap visuel. En psychologie cognitive, il existe des travaux visant à modéliser les processus mentaux déployés par les élèves dits tout-venant lorsqu'ils doivent apprendre à partir de documents multimédias, desquels ont été tirés

⁵ http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/ceincleh/115b2178_rapport-enquete (consulté le 03-05-2020)

des recommandations pour la conception de documents multimédias efficaces (Mayer, 2014). Ces recherches ont mis en évidence un certain nombre de phénomènes et de principes qui permettent de mieux appréhender les apports et les limites des documents multimédias pour l'apprentissage. En revanche, peu de travaux ont investigué cette question auprès d'élèves non ou malvoyants. Il n'est donc pas encore possible de définir dans quelle mesure les principes définis pour l'apprentissage des enfants voyants sont applicables aux élèves en situation de handicap visuel. Or, de tels travaux pourraient considérablement enrichir les principes issus de l'accessibilité web.

Au niveau appliqué, les résultats obtenus dans le cadre de cette thèse devraient permettre la formulation de recommandations utiles pour aider les auteurs et les industriels de l'édition scolaire numérique dans une optique de conception inclusive. Aussi, ils apporteront des éléments de réflexion concernant les pratiques en matière d'adaptation des contenus pédagogiques pour les professionnels des centres de transcription.

Le manuscrit comporte cinq parties principales. La première partie est un état de l'art comportant trois chapitres. Le premier chapitre est consacré à l'introduction des outils et ressources numériques dans le système éducatif. Parmi ces ressources, le manuel scolaire numérique est identifié comme un document multimédia. Les principales théories des apprentissages à partir de document multimédia sont donc présentées. Le second chapitre est dédié aux troubles de la fonction visuelle et à leur impact sur la scolarisation et les apprentissages chez les élèves atteints de ces troubles. Dans le troisième chapitre, le concept d'accessibilité numérique est discuté au regard notamment de travaux réalisés dans le champ de l'accessibilité web et de dispositifs de e-learning.

Les trois autres parties du manuscrit sont empiriques. La partie II est une analyse de l'existant en matière d'accessibilité pédagogique numérique qui repose sur une étude exploratoire de terrain (chapitre 1) et sur une inspection d'un manuel scolaire numérique au regard de référentiels d'utilisabilité et d'accessibilité (chapitre 2). Cette analyse a permis de décrire la situation actuelle d'inclusion du point de vue de la question de l'accessibilité pédagogique et de formuler des hypothèses de recherche (chapitre 3).

La partie III est une analyse des besoins des élèves présentant un trouble de la fonction visuelle lorsqu'ils utilisent les manuels scolaires numériques. Cette analyse repose sur des retours d'usages (chapitre 1) et sur un test d'utilisabilité et d'accessibilité comparant des élèves malvoyants et des élèves tout-venant lors de l'utilisation d'un manuel scolaire

numérique pour effectuer des tâches d'apprentissage (chapitre 2). Une synthèse des difficultés rencontrées et des besoins des élèves présentant un trouble de la fonction visuelle en matière d'accessibilité pédagogique numérique est proposée (chapitre 3).

La partie IV porte sur un principe de solution visant à répondre plusieurs besoins identifiés comme critiques : soutenir les processus cognitifs de sélection et d'intégration entre des sources d'informations par une modification des formats de présentation de l'information dans le manuel scolaire numérique. Le premier chapitre expose les principes de conception élaborés et le second chapitre présente une étude expérimentale visant à évaluer l'efficacité de ces principes par comparaison au format traditionnel.

Enfin, la partie V propose une discussion générale des résultats, souligne quelques limites et conclut sur les contributions principales de cette recherche appliquée.

Partie I – ÉTAT DE L'ART

Chapitre 1 Les ressources numériques pour l'éducation

1. Une introduction progressive dans les établissements scolaires

Des plans de réformes menés depuis les années 1970 ont permis l'équipement progressif des établissements scolaires en informatique (ordinateurs fixes, portables, tablettes, vidéoprojecteurs) et l'introduction de technologies numériques pour l'enseignement (tableaux numériques interactifs, environnements numériques de travail, etc.).

En 2014, avant le lancement du plan numérique pour l'éducation, les technologies numériques pour l'enseignement étaient utilisées dans 94% des projets d'établissement et deux tiers des collèges publics disposaient d'un Environnement Numérique de Travail (ENT). Dans ces derniers, les élèves peuvent consulter leurs notes et emploi du temps, envoyer des courriels à leurs professeurs ou récupérer des documents de cours. En dix ans, le nombre de tableaux blancs interactifs est passé de 2 à 11,2 pour 1 000 élèves⁶ et celui des ordinateurs et tablettes de 12,7 à 22 pour 100 élèves.

Si ces plans étaient plutôt centrés sur la question de l'équipement informatique, le plan numérique pour l'éducation lancé en mai 2015 adopte une approche plus globale en proposant trois mesures-clés⁷ : 1) la formation des enseignants aux technologies numériques et à l'enseignement avec ces outils ; 2) la mise à disposition de nouvelles ressources pédagogiques numériques et applications mobiles gratuites pour les enseignants et les élèves du CM1 à la 3^{ème} ; 3) l'équipement progressif en tablettes ou ordinateurs portables des collégiens et enseignants à partir de la rentrée 2016. Les compétences numériques font aujourd'hui partie du panel de compétences que l'élève doit maîtriser et sont évaluées dans le socle commun (p. ex. le Brevet Informatique et Internet au lycée). L'équipe de Thierry Karsenti a d'ailleurs mené un travail de fond afin de dégager un cadre de référence pour les compétences numériques pour les élèves canadiens (Ministère de l'Éducation et de l'enseignement, 2019a, 2019b). Cette augmentation des technologies numériques pour l'enseignement à l'école a

⁶http://cache.media.education.gouv.fr/file/2015/62/1/DEPP_NI_2015_01_equipement_informatique_double_en_dix_ans_colleges_publics_380621.pdf (consulté le 13/03/2020).

⁷ <http://ecolenumerique.education.gouv.fr/retenir-plan-numerique/> (consulté le 13/03/2020).

également impulsé la création de nouvelles ressources, telles que les manuels scolaires numériques.

Si l'introduction des technologies numériques pour l'enseignement dans les établissements scolaires est encore trop récente et hétérogène pour avoir le recul nécessaire à l'évaluation de son impact, les premiers rapports (Delaubier, 2015) soulèvent, malgré l'enthousiasme affiché des politiques, plusieurs problèmes à savoir 1) un déploiement ralenti par des problèmes techniques, organisationnels et financiers ; 2) des personnels peu formés à ces nouveaux outils ; 3) un usage en classe très limité ; 4) des bénéfices sur les apprentissages en deçà des attentes et dépendant de nombreuses conditions (Amadiou & Tricot, 2014).

2. Les apports et les limites du numérique pour l'éducation

L'arrivée du numérique dans le système éducatif a suscité beaucoup d'attentes mais aussi de débats d'idées relatifs à ses apports et à ses limites pour les activités d'enseignement et d'apprentissages. Un lecteur intéressé par des analyses détaillées pourra se référer à Amadiou et Tricot (2014) qui passent au crible scientifique 11 des avantages et inconvénients supposés du numérique pour apprendre afin de distinguer ceux relevant d'un mythe ou d'une réalité. Plus récemment encore, Tricot (2019), dans un rapport pour le compte du Conseil National d'Evaluation du Système Scolaire (CNESCO), présente les avantages et limites du numérique associés à 23 fonctions pédagogiques différentes. Il ne s'agit pas ici de revenir de façon détaillée et systématique sur ces éléments mais plutôt de cibler des éléments utiles pour éclairer des phénomènes observés, décrits et analysés dans la partie empirique du manuscrit.

Selon Tricot (2019), un des avantages du numérique pour présenter des informations est la possibilité d'enrichir les contenus informationnels (p. ex. ajouter un commentaire à un schéma) sans pour autant augmenter la quantité d'informations en exploitant l'intégration spatiale ou temporelle d'éléments (Ayres & Sweller, 2014). Un autre avantage, selon lui, est la possibilité de présenter des sommaires interactifs qui permettent à l'élève d'alterner entre une représentation de l'organisation globale et des informations plus locales. L'auteur pointe également la possibilité avec le numérique (par comparaison au papier) de proposer des tâches impliquant l'écoute de sons. Il souligne toutefois les exigences cognitives spécifiques associées au traitement de l'information sonore, notamment en lien avec l'effet négatif de l'information transitoire (Singh et al., 2012).

De façon générale, le numérique offre des possibilités inédites (personnalisation, flexibilité, dynamisme des contenus, etc.) et permettent d'externaliser des processus telles que la mémorisation ou la décision (Chang et al., 2015). Par exemple, l'agenda électronique, comme le cahier de texte, rappelle ce qu'il y a à faire mais il donne également la possibilité d'avoir des rappels automatisés. L'utilisation d'une telle fonctionnalité assiste, voire libère l'élève des processus tels que la planification ou l'anticipation. Ainsi, la conception de tels outils suppose de penser l'allocation des fonctions élèves-technologies pour l'apprentissage, question classique en ergonomie

Cependant, deux éléments peuvent tempérer l'enthousiasme soulevé par ces possibilités : tout d'abord, les professionnels de l'édition ne s'en saisissent pas forcément (Malti, 2018) mais surtout ces nouvelles possibilités imposent également des exigences mentales nouvelles et/ou supplémentaires : a minima celles liées à leur utilisation et à la gestion de la double tâche qui consiste à la fois à effectuer la tâche d'apprentissage et à utiliser l'outil (Tricot, 2007). Souvent négligées par le passé, ces compétences relatives à l'utilisation des outils numériques font aujourd'hui partie du référentiel de compétences qu'un élève doit maîtriser dans le cadre de son parcours scolaire (p. ex. le brevet informatique et internet).

3. L'exemple du manuel scolaire numérique

Le manuel scolaire numérique est un type de ressource pédagogique numérique. Il s'agit d'un outil didactique, dont l'objectif principal est de décliner, de manière organisée et progressive, les savoirs définis par les programmes officiels de l'Éducation Nationale (Rapport n° 2010-087 -Juillet 2010). Il permet aux enseignants et aux élèves de disposer d'un support visant à accompagner l'acquisition des connaissances et compétences figurant dans les programmes scolaires. Sans ignorer l'importance des autres types de supports pédagogiques (p. ex. photocopiés élaborés par l'enseignant, contenus écrits au tableau, etc.) ni même le choix de certains enseignants de ne pas utiliser de manuel scolaire, il reste un support emblématique de l'enseignement et des apprentissages. Le rapport n° 2010-08 (juillet 2010) sur les manuels scolaires a d'ailleurs questionné les usages du manuel scolaire par les lycéens. Sur un total de 3 000 réponses, 6% exprimaient en faire un usage « très important » et 6.5% un usage nul. Ces chiffres indiquent qu'une importante majorité des élèves utilisent les manuels scolaires, bien que cet usage varie fortement en fonction des matières (p. ex. 27.5% utilisent des manuels scolaires en histoire-géographie contre seulement 2.5% en philosophie).

Quant à la répartition du lieu d'usage, 69% indiquent utiliser majoritairement le manuel scolaire en classe contre 31% qui en font usage principalement à la maison.

Si le manuel scolaire papier reste encore largement en tête du marché, sa version numérique est en pleine expansion. Le Syndicat National des Éditeurs (SNE) enregistre une augmentation du chiffre d'affaire relatif aux ventes numériques dans le domaine scolaire de 38,20 % entre 2016 et 2017. Sur l'année scolaire 2018-2019, une augmentation de 6,1%, pour un total de 8 980 949 d'euros de chiffre d'affaire⁸ est encore observée alors même que 2018 est une année sans réforme des programmes. Cette augmentation s'explique en partie par la volonté de certaines régions de passer au tout numérique. À titre d'exemple, la région Île de France annonce un passage au « 100% » numérique pour l'ensemble des lycées professionnels et dans au moins 50% des établissements généraux et technologiques dès la rentrée 2019. Au titre du Plan Numérique pour l'Éducation, les établissements scolaires ont pu bénéficier du soutien financier de l'État et des régions pour acquérir des licences de manuels scolaires numériques.

Initialement conçues pour l'enseignant, les versions du manuel scolaire numérique ont progressivement évolué vers une utilisation élève. Nikitopoulos (2017) distingue quatre types de manuels scolaires numériques :

- Le manuel numérisé. Cette version correspond à une numérisation de la version papier sans modification ni fonctionnalités ajoutées.
- Le manuel numérique simple (Figure 1). Cette version dématérialisée du manuel papier présente des fonctionnalités d'interaction propres à chaque application de lecture. L'élève pourra par exemple annoter un document, le surligner, l'entourer. Le manuel peut être consulté sur un ordinateur, une tablette tactile, un smartphone et projeté sur le tableau blanc interactif.
- Le manuel numérique enrichi. Cette version correspond à la version numérique simple à laquelle des ressources additionnelles multimédias ont été ajoutées (p. ex. des vidéos, fichiers sons, des exercices interactifs, des fiches de révision ou encore des liens vers des sites internet pertinents).

⁸ https://www.sne.fr/app/uploads/2019/06/RS19_Synthese_Web01_VDEF.pdf (consulté le 16-03-20)



Figure 1. Exemple d'un manuel scolaire numérique de français 3^{ème}

- Le manuel personnalisable. Le manuel personnalisable est similaire au manuel enrichi à ceci près qu'il dispose de fonctionnalités permettant de modifier le contenu, par ajout ou modification de l'agencement.

Dans le cadre de cette thèse, seuls les manuels numériques simples et enrichis seront considérés puisqu'ils correspondent aux manuels numériques qui sont aujourd'hui mis à disposition des élèves. Le manuel personnalisable est actuellement référencé sur les sites des éditeurs comme le manuel « enseignant ».

Si les manuels scolaires numériques ont encore du mal à trouver leur place dans les salles de classe (Appleton, 2004; Mardis et al., 2010; Nikitopoulos, 2017; Yekyung, Lee, & Lee, 2019), ils pourraient constituer une aide à la scolarisation des élèves déficients visuels. En effet, ces versions disposent d'outils embarqués permettant d'agrandir l'information présentée, soit par le biais d'une loupe, soit via des fonctionnalités d'agrandissement par zone. Également, la possibilité d'utiliser des ressources multimédias telles que les sons, permet d'envisager des types de présentation de l'information non visuelle.

4. Les théories de l'apprentissage multimédia

Les recherches relatives à l'apprentissage à partir de documents multimédias et leurs implications pour la conception de contenus pédagogiques efficaces apportent un éclairage scientifique utile concernant les processus cognitifs mis en jeu lors d'une tâche d'apprentissage impliquant un manuel scolaire numérique. En effet, comme il a été mentionné dans la section précédente, les manuels scolaires numériques présentent des informations sous différents formats et proposent des tâches à réaliser telles que lire un texte pour répondre à des questions de compréhension ou encore résoudre des problèmes.

Dans ce chapitre, la théorie de la charge cognitive (Chandler & Sweller, 1991) et la théorie de l'apprentissage multimédias (Mayer, 2014b) sont présentées de façon synthétique. Ces théories et les recherches empiriques qu'elles ont impulsées ont permis d'aboutir à un ensemble de principes utiles pour la conception de documents pédagogiques numériques efficaces et à l'identification des conditions d'application de ces principes. Ces principes visent à identifier les formats de présentation compatibles avec les contraintes de l'architecture cognitive humaine de façon à limiter des traitements cognitifs inutiles et à permettre une mobilisation des ressources mentales sur les processus centraux pour apprendre. Si ces principes ne s'érigent pas en lois universelles de présentation de l'information, en tenant compte notamment des caractéristiques des apprenants (p. ex. leur degré d'expertise), il existe très peu de recherches spécifiques sur la validité de ces principes chez les apprenants en situation de handicap. La présentation de ces principes sera limitée ici à ceux qui pourraient être spécifiquement modifiés par la présence d'une atteinte de la fonction visuelle.

Comme nous le verrons plus tard (cf. Chapitre 2), les atteintes de la fonction visuelle telles que la cécité ou la malvoyance n'engendrent pas un fonctionnement cognitif fondamentalement différent chez les personnes aveugles ou malvoyantes qui justifierait de développer un modèle spécifique des apprentissages explicites chez ces élèves. Cependant, les particularités de l'accès à l'information agrandie, auditive ou braille comparativement à l'accès à l'information visuelle entraînent des besoins spécifiques sur lesquels nous reviendrons plus bas.

4.1. La théorie de la charge cognitive

La théorie de la charge cognitive est largement documentée dans la littérature scientifique, des ouvrages entiers lui étant dédiés (Chandler & Sweller, 1991; Kalyuga, 2009;

Plass et al., 2010). Cette théorie apporte des éléments permettant d'analyser les difficultés des apprenants lors du traitement d'informations dans des tâches d'apprentissage ou de résolution de problèmes.

La théorie de la charge cognitive s'appuie sur une conception classique du fonctionnement cognitif humain qui divise la mémoire en deux : une mémoire de travail à capacité limitée et une mémoire à long terme a priori illimitée (Chandler & Sweller, 1991). Lors d'une tâche d'apprentissage, l'apprenant met en œuvre des processus cognitifs variés en mémoire de travail en lien avec la tâche (p. ex. lire et comprendre des consignes) et mobilise ses connaissances antérieures stockées en mémoire à long terme. Selon la façon dont la tâche est conçue et présentée, l'apprenant peut cependant avoir à mettre en œuvre des processus cognitifs additionnels qui ne sont pas directement utiles pour apprendre (p. ex. inhiber des informations non pertinentes mais présentes dans la tâche). L'ensemble de ces éléments forment la charge cognitive qui représente le niveau d'effort mental nécessaire à la réalisation d'une tâche donnée (Tricot, 2007). Selon cette théorie, les effets des dispositifs d'apprentissage sur les performances sont médiés par la charge cognitive. Les difficultés surviennent essentiellement lorsque la charge cognitive induite par la réalisation de la tâche d'apprentissage dépasse la capacité en mémoire de travail. Cette charge cognitive pourrait se décomposer en fonction de sa source en charge cognitive intrinsèque, extrinsèque et charge cognitive essentielle.

La *charge cognitive intrinsèque* est liée à la complexité du contenu à apprendre et est déterminée par le nombre et le degré d'interactivité entre les éléments. Cette source de charge cognitive n'est pas facile à contrôler car elle dépend du domaine d'apprentissage. On peut toutefois jouer sur l'introduction progressive dans le temps des éléments à apprendre pour la diminuer (Ayres, 2006). Cette charge étant liée notamment à la quantité d'informations à apprendre, elle dépend de l'expertise de l'apprenant. Un apprenant disposant de connaissances nombreuses et organisées dans un domaine donné pourra opérer des regroupements d'informations sous la forme de *chunks* et ainsi, réduire la charge intrinsèque.

La *charge cognitive essentielle* renvoie aux processus requis par la tâche d'apprentissage (p. ex. sélectionner l'information, construire des relations, faire des inférences). Elle permet l'intégration des informations traitées en mémoire à long terme. Cette source de charge cognitive en mémoire de travail est à favoriser puisque c'est elle qui permet d'apprendre. La charge cognitive essentielle pourrait être stimulée par des incitations spécifiques telles que des consignes d'auto-explication (Roy & Chi, 2005) ou, lorsqu'on

présente un exemple de problème résolu (*worked example* ; Sweller et al., 2011) ou encore par une consigne incitant à générer le rationnel sous-jacent aux étapes de résolution (Paas & van Gog, 2006). Toutefois, ces dispositions dépendent souvent de la capacité des apprenants à répondre à l'incitation (Lovett, 1992) ; en effet si l'apprenant n'y parvient pas, l'incitation génère alors une charge cognitive qui détériore l'apprentissage.

La *charge cognitive extrinsèque* prend pour source des formats de présentation de l'information dans une tâche d'apprentissage inadaptés qui génèrent des exigences cognitives non bénéfiques pour l'apprentissage. Un design inapproprié augmentera la charge cognitive extrinsèque car il impliquera une sollicitation plus importante de la mémoire de travail pour des activités non utiles aux apprentissages (Leahy & Sweller, 2011).

La charge cognitive extrinsèque étant considérée comme délétère, les chercheurs ont tenté d'identifier les conditions qui génèrent une charge extrinsèque importante et des moyens de la réduire. Par exemple, lorsqu'une tâche d'apprentissage nécessite de traiter deux sources d'information (un schéma et sa description) de façon intégrée et que ces deux sources sont séparées dans le temps ou l'espace, la charge extrinsèque imposée est élevée car l'apprenant doit diviser son attention entre ces deux sources d'informations différentes, faire des aller-retours entre les sources et maintenir les informations d'une source en mémoire de travail pendant le traitement de l'autre source, ce qui entrave les processus d'intégration des informations (Chandler & Sweller, 1992; Kalyuga et al., 1999; Sweller et al., 2011) : on parlera de l'effet de l'attention partagée.

Les charges cognitives extrinsèque, intrinsèque et essentielle doivent être considérées comme une unité en ce sens qu'elles s'additionnent en mémoire de travail lors de la réalisation d'une tâche d'apprentissage. Aussi, l'apprenant est en surcharge mentale si l'effort excède la capacité totale de la mémoire de travail dont il dispose. Concevoir un support d'apprentissage nécessite alors, si la tâche est exigeante et que l'apprenant a peu de connaissances dans le domaine, de limiter la charge extrinsèque.

4.2. La théorie cognitive de l'apprentissage multimédia

Le terme « multimédias » recouvre une multitude de situations variées faisant référence à la présentation d'informations textuelles et picturales (images statiques, animations, vidéos, etc.). Les manuels scolaires, à l'inverse des ouvrages littéraires, adoptent une présentation des contenus majoritairement multimédias (Chunawala et al., 2009), comptabilisent seulement 11 pages sans images sur un total de 978 pages de manuels scolaires analysées, pointant ainsi

l'omniprésence des documents illustrés dans les contenus pédagogiques. Dans les versions numériques des manuels scolaires numériques, le multimédias ne se limite pas aux images mais permet également des présentations dynamiques et sonores (p. ex. vidéo, fichiers sons). Ces versions présentent aussi un caractère interactif puisque l'élève peut contrôler l'affichage (p. ex. des cartes ou des exercices interactifs), annoter les documents, agrandir les informations, etc. La théorie de l'apprentissage multimédias semble donc un outil incontournable lorsque l'on s'intéresse à la conception de manuels scolaires numériques.

La théorie cognitive de l'apprentissage multimédias (Mayer, 2014) se base sur un modèle classique du système de traitement de l'information humain, distinguant les registres sensoriels, la mémoire de travail (MDT) et la mémoire à long terme (MLT; Figure 2). Elle s'appuie sur trois postulats relatifs aux propriétés du fonctionnement cognitif lors du traitement d'un document multimédias : le double codage des informations, la capacité limitée de traitement et l'apprentissage (traitement) actif.

Le double codage des informations. En référence à la théorie du double codage de l'information (Paivio, 1986) et d'une conception de la MDT organisée en sous-systèmes esclaves indépendants (Baddeley, 1992), les informations verbales et imagées issues des présentations multimédias sont traitées spécifiquement par les registres sensoriels selon leur modalité de présentation : les mots écrits et les illustrations sollicitent le canal visuel, alors

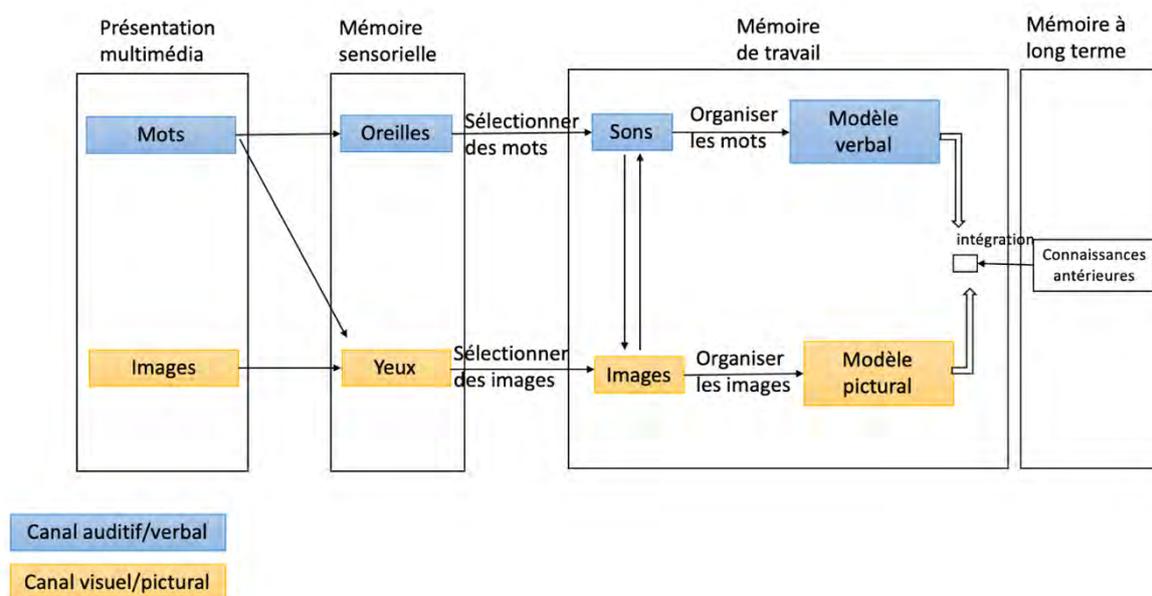


Figure 2. Modèle de la théorie cognitive de l'apprentissage multimédias (Mayer, 2014, p.52, notre traduction).

qu'un commentaire verbal oral, ou plus largement des sons, solliciteront le canal auditif. Ces registres conservent l'information intacte mais pendant un délai très court. Puis, l'information est traitée et maintenue active en MDT dans des sous-systèmes distincts. Un sous-système est spécialisé dans le traitement et la représentation d'objets et évènements non verbaux, quant au second, il est spécialisé dans le traitement et la représentation d'éléments non verbaux. Selon cette théorie, lorsque le document permet un double codage de l'information sous une forme verbale et imagée, il sera plus facile de le reconnaître et de le rappeler. Le fait de l'avoir codé et stocké en mémoire sous forme verbale et imagée permettrait, lors de la récupération, d'accéder à l'information par l'un ou l'autre des deux codes.

La capacité limitée de traitement. Les traitements des informations s'opèrent dans une mémoire de travail à capacité limitée conduisant les apprenants à opérer des sélections des informations et à s'engager dans des traitements itératifs. Une sollicitation excessive de la mémoire travail entraînerait alors une surcharge pouvant avoir des effets délétères pour les apprentissages. Ce point est convergent avec les postulats de la théorie de la charge cognitive.

Le traitement actif. La finalité de l'apprentissage étant de construire un modèle mental cohérent intégrant des informations des différents formats d'information, l'apprenant doit mettre en œuvre des traitements contrôlés.

La théorie cognitive de l'apprentissage multimédias décrit cinq étapes de traitement en mémoire de travail : sélection des mots, sélection des images, organisation des mots, organisation des images et, intégration. Dans un premier temps, les informations sont captées au niveau sensoriel et une sélection des informations doit être opérée. Il s'agit ici de focaliser sur les informations utiles et d'inhiber les informations inutiles à la fois au niveau verbal et imagé. Une partie des informations est ensuite traitée en mémoire de travail. Ce traitement donnera lieu à deux modèles différents : un modèle pictural et un modèle verbal, construits sur la base de processus d'organisation de l'information, c'est-à-dire de construction de la cohérence des informations. L'apprenant va ensuite établir des connexions entre le modèle verbal, le modèle pictural et ses connaissances antérieures : on parlera d'intégration.

Les recherches dans le champ de l'apprentissage multimédias ont mis en évidence un certain nombre d'effets suffisamment robustes pour permettre la formulation de principes de conception multimédias. Les principaux effets mis à jour et les principes qui en découlent sont les suivants :

- L’effet multimédias : on apprend mieux avec une image et du texte plutôt qu’avec un texte seul (Butcher, 2014)
- L’effet de cohérence : on apprend mieux lorsque les éléments non utiles aux apprentissages sont exclus des ressources (Mayer & Fiorella, 2014)
- L’effet d’attention partagée : les commentaires textuels ou oraux doivent être proches spatialement ou temporellement des images qu’ils accompagnent pour que l’élève puisse intégrer mentalement les deux sources d’information (Ayres & Sweller, 2014)
- L’effet de modalité : on apprend mieux avec des commentaires oraux plutôt qu’écrits accompagnant une image (Low & Sweller, 2014)
- L’effet de signalisation : on apprend mieux lorsque les éléments importants sont mis en évidence que lorsqu’ils ne le sont pas (Schneider et al., 2018)
- L’effet de l’information transitoire : on apprend mieux lorsque l’information est donnée textuellement plutôt qu’auditivement (Leahy & Sweller, 2011)
- L’effet de redondance : le texte et l’image doivent entretenir une relation de complémentarité plutôt qu’une relation de redondance (Kalyuga & Sweller, 2014)

4.3. Une limite des travaux sur l’apprentissage multimédia : des populations d’apprenants principalement tout-venant

Il existe quelques travaux qui ont cherché à appliquer les théories de la charge cognitive ou de l’apprentissage multimédias aux cas particuliers des élèves à besoins spécifiques. Par exemple, Greer et al. (2013), partant du constat d’un manque cruel de recherche prenant en compte des élèves à besoins éducatifs spécifiques, mènent une réflexion sur les applications de la théorie cognitive de l’apprentissage multimédias aux élèves présentant des troubles des apprentissages. Les auteurs font un tour horizon des recherches en tentant de mettre en évidence les manifestations des effets de redondance, de modalité, d’attention partagée, de l’exemple travaillé et de renversement en fonction de l’expertise, chez ces élèves.

Quelques travaux tentent également de mobiliser la théorie de la charge cognitive pour des élèves à besoins éducatifs particuliers, par exemple pour des élèves ayant des difficultés d’apprentissages (DaCosta & Seok, 2010), un handicap cognitif (Cinquin et al., 2019, 2020) ou une dyslexie (Tricot et al., 2020).

Concernant les élèves présentant un trouble de la fonction visuelle, seuls les travaux de Evans (2008) lient la théorie de la charge cognitive et l’apprentissage à partir de documents

numériques chez les élèves aveugles. Elle identifie comme origine d'un grand nombre des difficultés rencontrées par les élèves avec trouble de la fonction visuelle un problème de surcharge cognitive dues aux spécificités d'accès aux informations.

Ainsi, hormis ces travaux très ponctuels, si l'on examine les travaux empiriques réalisés dans le champ de l'apprentissage multimédias, notamment de récentes méta-analyses (Richter et al., 2016; Schneider et al., 2018), on constate que les populations d'apprenants étudiées sont de différents niveaux (école élémentaire, collège, lycée, université) et varient parfois sur certaines caractéristiques (p.ex. leur niveau de connaissances antérieures ou encore leur genre), mais ils sont tout-venant ou « moyens » au sens gaussien du terme et ne présentent pas de besoins éducatifs particuliers. Or, l'école ordinaire accueille aujourd'hui aussi des élèves avec des besoins éducatifs spécifiques comme les élèves présentant des troubles de la fonction visuelle.

Chapitre 2 Troubles de la fonction visuelle et apprentissages scolaires

1. Définition des troubles de la fonction visuelle

L'organisation Mondiale de la Santé (OMS), estime à 1.3 milliard le nombre de personnes présentant une forme de déficience visuelle⁹. La déficience visuelle doit être vue comme un continuum allant de la malvoyance légère à la cécité totale. Elle se définit généralement en fonction de deux paramètres que sont l'acuité visuelle et le champ visuel. S'il existe plusieurs classifications telles que la classification de l'International Association for the Prevention of Blindness (IAPB), la Classification Internationale des Handicaps (CIH) ou encore la Classification Internationale des Maladies (CIM), cette dernière, utilisée par l'OMS, semble aujourd'hui la plus partagée. La onzième Classification internationale des maladies (CIM-11, 2018) parue en 2018 distingue les déficiences visuelles affectant la vision de loin et de près (toute deux corrigées).

Les déficiences affectant la vision de loin se distinguent sur quatre niveaux allant de la malvoyance légère à la cécité totale.

- Légère – acuité visuelle corrigée inférieure à 6/12 ;
- Modérée – acuité visuelle corrigée inférieure à 6/18 ;
- Sévères – acuité visuelle corrigée inférieure à 6/60 ;
- Cécité – acuité visuelle corrigée inférieure à 3/60.

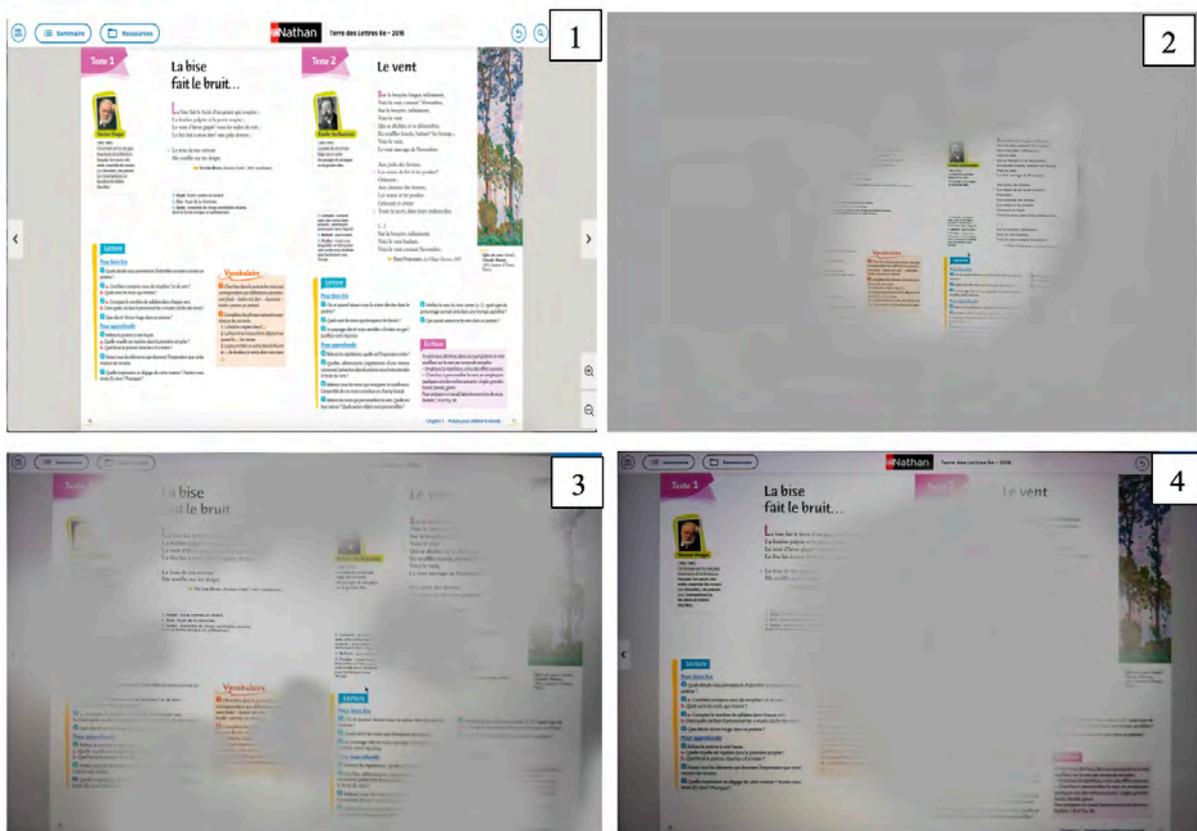
Les déficiences affectant la vision de près concernent une acuité visuelle inférieure à N6 ou N8 à 40 cm avec la correction existante.

Si ces classifications sont utiles pour fixer des critères internationaux, chaque pays est libre de fixer ces propres critères. En France, la cécité légale est définie par une acuité visuelle inférieure à 1/20 pour le meilleur œil après correction. Une personne considérée comme aveugle en France pourra faire appel à des résidus visuels contrairement à d'autres pays dans

⁹ <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment> (consulté le 28-04-20)

lesquels la limite est fixée à 1/10 (p. ex. aux Etats Unis d’Amérique). Une personne est considérée comme malvoyante, en France, si son acuité visuelle après correction est comprise entre 4/10 et 1/20, ou si son champ visuel est compris entre 10 et 20 degrés. Si ces critères permettent de distinguer non-voyant (ou aveugles) et malvoyants (ou amblyope), les manifestations possibles de la déficience visuelle sont très variables pour un même groupe et dépendent pour partie de l’origine de celle-ci (Figure 3). Par exemple, certaines personnes auront une vision tubulaire alors que pour d’autres, ce sera la vision de loin ou la perception des couleurs qui seront affectées.

La déficience visuelle peut être congénitale ou acquise. Dans le cas des aveugles, on distinguera classiquement les aveugles de naissance des aveugles tardifs, pour lesquels la perte de vision subvient après l’âge de trois ans (Hatwell, 2003).



1 : vision normale ; 2 : glaucome ; 3 : rétinopathie diabétique ; 4 : neuropathie optique

Figure 3. Exemples de type d’atteintes de la vision lors de la perception d’une page de manuel scolaire. Simulation réalisée avec l’application EyeView.

En France métropolitaine, l'enquête H.I.D. (Handicap – Incapacité – Dépendance) réalisée en 2005 apporte un éclairage sur la situation des personnes ayant un handicap visuel et évalue les aveugles et les malvoyants profonds à 207 000 et les malvoyants moyens à 932 000. Cependant, il reste très complexe d'obtenir des chiffres précis car la loi française interdit la collecte de données médicales lors d'enquêtes à grande échelle.

Si les données étiologiques ne font état d'aucune différence homme/femme, l'avancée dans l'âge semble être un facteur déterminant dans l'apparition d'un trouble de la fonction visuelle. Selon l'OMS¹⁰, 81% des aveugles et des personnes qui présentent une déficience visuelle modérée ou sévère sont âgés de 50 ans et plus. Concernant les enfants, les prévisions de l'Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale¹¹ estiment une prévalence de l'ordre de 0.5% pour 1000 enfants. Ces chiffres sont à interpréter avec précautions du fait des diagnostics parfois tardifs et de la présence d'autres troubles qui pourraient masquer la déficience visuelle. En effet, l'enquête H.I.D révèle également que quatre déficients visuels sur cinq seraient atteints d'une pathologie associée (p. ex. troubles moteurs, troubles cognitifs). Chez les enfants, des recherches récentes montrent une prévalence plus importante du trouble du spectre de l'autisme et pointent les difficultés de poser un diagnostic du fait de la similitude des deux tableaux cliniques (de Verdier, 2016; de Verdier & Ek, 2014; Still, 2018).

2. Évolution de la scolarisation des élèves avec trouble des fonctions des visuelles : de la ségrégation à l'inclusion

La scolarisation des élèves avec troubles de la fonction visuelle est d'abord marquée par une prise en charge institutionnelle. En 1784, le premier établissement pour les enfants aveugles ouvre ses portes en France. Cet établissement créé par Valentin Haüy est aujourd'hui encore un établissement de référence dans la prise en charge des jeunes avec trouble de la fonction visuelle puisqu'il s'agit de l'Institut National des Jeunes Aveugles. Les instituts pour jeunes déficients sensorielles vont ensuite se multiplier sur le territoire français. L'accès à la scolarisation pour les élèves aveugles et malvoyants est rendue possible par le biais de centres spécialisés dans l'accompagnement de ces jeunes.

¹⁰ <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment> (consulté le 28-04-20).

¹¹ <http://www.ipubli.inserm.fr/handle/10608/47> (consulté le 28-04-20).

Dès 1970, la notion d'intégration apparaît avec la création des premières classes délocalisées (aujourd'hui connues sous le nom d'Unité Localisée pour l'Inclusion Scolaire ; ULIS). Les élèves avec trouble de la fonction visuelle peuvent ainsi être scolarisés dans un établissement ordinaire mais ne sont pas mélangés aux autres élèves. Ils disposent de classes spécifiques n'accueillant que des élèves à besoins éducatifs particuliers. Si les élèves malvoyants commencent à intégrer les établissements ordinaires, la scolarisation pour les élèves aveugles reste majoritairement institutionnelle.

Depuis quelques années les politiques œuvrent en faveur de l'inclusion scolaire des élèves à besoins éducatifs particuliers, dont les élèves avec trouble de la fonction visuelle font partie. L'inclusion scolaire se distingue de l'intégration par une volonté de ne plus dissocier le groupe des élèves à besoins éducatifs spécifiques de l'ensemble des élèves (

Figure 4). Concrètement, cela se traduit par la présence de ces élèves autant que possible dans des classes ordinaires et non plus dans des classes délocalisées. Comme le souligne Tremblay (2015) :

Sur le plan qualitatif, graduellement, on passera d'un modèle médical distinctif de l'enseignement spécialisé ségrégatif vers un modèle de la pathologie sociale (inadaptation scolaire) qui caractérise l'intégration scolaire. Puis, avec l'inclusion scolaire, un modèle environnemental et anthropologique est adopté où « [...] les difficultés rencontrées à l'école sont perçues comme une conséquence [des] interactions [de l'élève] avec son environnement et non comme une conséquence de ses incapacités. » (p. 5)

Si, aujourd'hui, le modèle multidimensionnel du handicap prévaut, dans une conception plus médicale du handicap, la responsabilité est individuelle et le point d'entrée la déficience de l'individu (Woods, 1980).

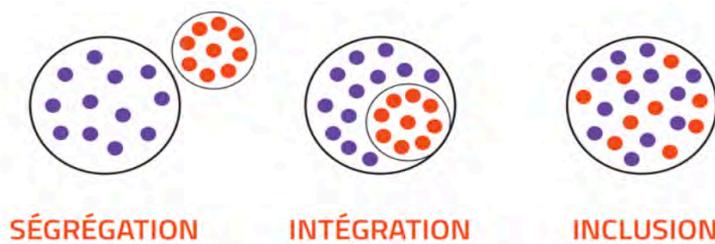


Figure 4. Schéma illustrant les principes de ségrégation, d'intégration et d'inclusion. Extrait du site de l'association TouPI.

Progressivement, une distinction entre déficience, incapacité et désavantage social est apparue. Aujourd'hui, les modèles sociaux du handicap mettent en avant l'importance de l'environnement, déplaçant ainsi le handicap de la personne à la situation. On ne parlera alors plus de personne « handicapée » mais de personne en « situation de handicap » (Ancet, 2011; Ébersold, 2012; Ébersold, 2015; Shakespeare & Watson, 2015). Selon le Modèle de Développement Humain et Processus de Production du Handicap (MMH-PPH2) proposé par Fougeyrollas (2016), le handicap ne résulte pas de la personne ou de la situation sociale mais de l'interaction entre les facteurs personnels, environnementaux et les habitudes de vie. L'élève présentant une déficience visuelle, par exemple, sera en situation de handicap scolaire s'il est empêché d'apprendre en raison d'un manque de compatibilité des ressources qui lui sont proposées avec ses besoins spécifiques. Aussi, il est nécessaire de fournir un accès égal aux environnements physiques et numériques aux élèves en situation de handicap en inclusion en réduisant ou supprimant les discordances entre les capacités, les besoins et les différentes composantes physiques, organisationnelles et culturelles des environnements pour éliminer les limitations d'activité.

Aujourd'hui, l'inclusion est un principe de droit. En 1994 déjà, la déclaration de Salamanque réaffirmait le droit pour toutes les personnes à l'éducation, tel qu'énoncé dans la Déclaration Universelle des Droits de l'Homme en 1948. Par cette déclaration, la volonté de passer d'une « éducation spécialisée » à une éducation dite « inclusive » est affirmée. Quelques années plus tard, l'article 24 de la convention des Nations Unies relative aux Droits des personnes handicapées (2006) signée par 153 pays insiste à nouveau sur la nécessité de mettre en place une éducation inclusive et précise que : « Les États partis veillent à ce que les enfants handicapés ne soient pas exclus, sur le fondement de leur handicap, de l'enseignement primaire gratuit et obligatoire ou de l'enseignement secondaire ». En France, l'éducation inclusive se traduit d'abord par le lancement du plan Handiscol en 1999, puis par la loi de

Refondation de l'école du 8 juillet 2013 et enfin par la loi 2005-102 du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées.

La loi 2005-102 du 11 février 2005 marque une avancée considérable dans la prise en compte du handicap et l'inclusion des élèves déficients visuels. Cette loi, constituée d'une centaine d'articles, aborde diverses thématiques au regard du handicap, telles que : le droit à la compensation, la scolarité, l'emploi, l'accessibilité ou la participation à la vie sociale. Deux thématiques sont ici abordées : la scolarisation et l'accessibilité.

Concernant la scolarité, elle fait obligation « d'assurer à l'enfant en situation de handicap une scolarisation en milieu ordinaire au plus près du domicile, de garantir une continuité du parcours scolaire et d'assurer l'égalité des chances aux examens ». Ainsi, comme l'indique la Figure 5, le nombre d'élèves en situation de handicap scolarisés dans les établissements scolaires a quasiment triplé, passant de 118 000 élèves en 2006 à 361 500 sur l'année scolaire 2018-2019¹². Ce chiffre représente 83 % des élèves en situation de handicap, les autres élèves étant scolarisés en établissement spécialisé ou médicalisé.

Concernant les élèves présentant un trouble de la fonction visuelle, 5 297 étaient en inclusion sur cette même année, soit environ 91%. Cependant, ce chiffre est à interpréter avec précaution puisqu'il inclut les élèves en ULIS dont on ignore la proportion de temps passé en classe ordinaire. En effet, l'inclusion d'un élève en situation de handicap en milieu ordinaire peut prendre plusieurs formes : certains élèves sont inclus à 100% dans des classes ordinaires, alors que d'autres peuvent être en ULIS. Dans ce cas, leur temps en classe ordinaire peut être nul ou représenter quelques heures par semaine. Le pourcentage des élèves inclus en établissement ordinaire mais dans une ULIS, correspond à 9% (soit 507 élèves pour l'année 2019). Aucune donnée n'est disponible quant à la répartition de temps en ULIS et dans la classe dont la proportion dépend du type de handicap, de la présence de trouble associés et de l'intensité des troubles. Dans la plupart des cas, les élèves présentant des troubles de la fonction visuelle continuent de bénéficier en inclusion des services d'un institut spécialisé (p. ex. suivi ophtalmologique, soutien scolaire, accompagnement psychologique).

Afin de garantir une scolarité répondant aux besoins spécifiques de ces élèves, la loi de 2005 s'appuie sur deux piliers que sont l'accessibilité et la compensation.

¹² <https://www.education.gouv.fr/l-etat-de-l-ecole-2019-11246>

L'**accessibilité** renvoie à la possibilité pour tous les élèves en situation de handicap d'accéder de droit à une scolarisation ordinaire. Pour ce faire, les mesures suivantes sont mises en place : (1) le droit à l'inscription dans un établissement de secteur (établissement scolaire de référence), (2) l'accès à l'ensemble des locaux et matériels nécessaires à la scolarisation (incluant les ressources pédagogiques), (3) la mise aux normes des infrastructures culturelles et sportives.

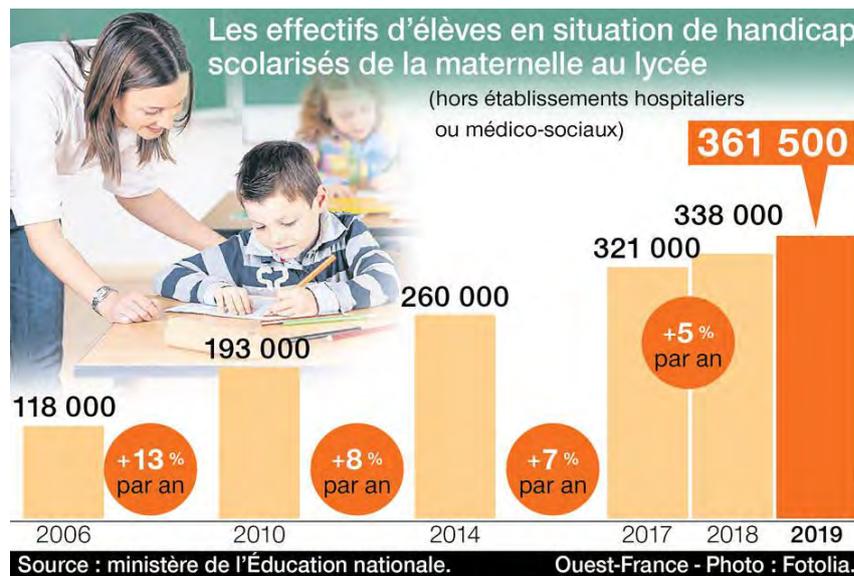


Figure 5. Évolution des effectifs d'élèves en situation de handicap inclus en classe ordinaire.

La **compensation**, quant à elle, vise à rétablir l'égalité des droits et des chances par le biais d'un « plan personnalisé de compensation » lorsque l'accessibilité n'est pas totale. Pour ce faire, plusieurs dispositifs ont été mis en place afin de faciliter les parcours scolaires des élèves en situation de handicap : un établissement scolaire de référence, un projet personnalisé de scolarisation (PPS ; listant les besoins et aménagements spécifiques à réaliser dans le cadre de l'accompagnement éducatif), une équipe de suivi de la scolarisation, un enseignant référent pour chaque élève ainsi que des aménagements scolaires (p. ex. la présence d'un Accompagnant des Élèves en Situation de Handicap - AESH, des horaires adaptés, la possibilité d'avoir un tiers temps supplémentaire pour les examens, etc.). Cependant, l'inclusion en milieu ordinaire des élèves en situation de handicap reste problématique dans bien des cas car les situations d'apprentissage (tâches, supports, matériels, etc.) ne sont pas systématiquement pensées au regard des besoins particuliers de ces derniers.

3. Les aides actuelles à la scolarisation des élèves atteints

Eu égard des besoins éducatifs spécifiques des élèves en situation de handicap, la loi du 11 février 2005 prévoit la mise en place de mesures spécifiques afin de soutenir leur scolarisation en établissement ordinaire. Ces aides peuvent être catégorisées en trois types : les aides humaines, les aides organisationnelles et les aides techniques¹³.

3.1. Les aides humaines

Les aides humaines renvoient au soutien apporté par un tiers. Si cela est jugé nécessaire et notifié dans le plan de compensation par la Maison Départementale des Personnes Handicapées (MDPH), les élèves sont accompagnés par un AESH lors des temps scolaires. Il a pour mission d'aider l'élève dans les diverses tâches annexes à ses apprentissages (p. ex. verbaliser/décrire les éléments non accessibles, l'accompagner lors des sorties scolaires, etc.). De plus, les élèves bénéficient généralement chacun de l'aide d'un enseignant spécialisé qui se déplace dans leur établissement pour leur apporter un accompagnement personnalisé dans l'acquisition de compétences spécifiques (p. ex. formation aux outils informatiques, apprentissage du braille). Ces élèves bénéficient également très souvent d'un suivi pluridisciplinaire variant en fonction de leurs besoins : psychologue, ergothérapeute, éducateur, orthoptiste ou locomotricien.

3.2. Les aides organisationnelles

Les aides organisationnelles renvoient à l'obligation d'offrir, pour chaque élève en situation de handicap, un plan personnalisé de scolarisation établi à partir d'une évaluation de ses besoins de compensation en matière de scolarisation. Dans le cas des élèves déficients visuels, il s'agit notamment de pouvoir bénéficier d'un tiers temps supplémentaire lors de la réalisation d'un examen, d'un report des notes sur cinq ans et de la possibilité de réaliser une année scolaire en deux années civiles (p. ex. suivre les cours littéraires l'année 1 et les cours scientifiques l'année 2 et ainsi réaliser son année scolaire en deux 2 ans) pour les situations les plus courantes.

¹³ Pour une description détaillée de la situation d'inclusion des élèves mal ou non-voyants, voir Lewi-Dumont, 2016

3.3. Les aides techniques

Les aides techniques incluent l'ensemble des outils technologiques et des supports adaptés mis à disposition des élèves. Si les élèves déficients visuels représentent le plus petit groupe des élèves en situation de handicap en inclusion, ils s'avèrent être les plus/mieux équipés en aides techniques. Selon les repères et références statistiques¹⁴ sur l'année 2019, 40 % des élèves du primaire et 64 % des élèves du collège bénéficient d'aides techniques. Outre les aides techniques, les élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle bénéficient également de certains contenus pédagogiques adaptés.

3.3.1. Les adaptations papiers et numériques

Lorsque les supports n'existent pas dans un format numérique ou bien que celui-ci n'est pas accessible (p. ex. incompatible avec la synthèse vocale), il est nécessaire d'adapter ou de transcrire ces supports. Généralement, ces adaptations sont réalisées par le service d'adaptation-transcription dépendant de la structure qui accompagne l'élève. Dans certains cas, l'enseignant spécialisé, l'AESH ou l'enseignant de la classe pourront eux-mêmes réaliser ces adaptations. Les versions numériques peuvent ensuite être consultées via les aides technologiques mises à disposition de l'élève. Considérant l'exemple du manuel scolaire, les

¹⁴ <https://www.education.gouv.fr/l-etat-de-l-ecole-2019-11246> (consulté le 04-05-2020)

adaptations fournies aux élèves seront différentes selon que l'élève est malvoyant ou non-voyant (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Figure 6. Type de contenu pédagogique en fonction du type de déficience visuelle.

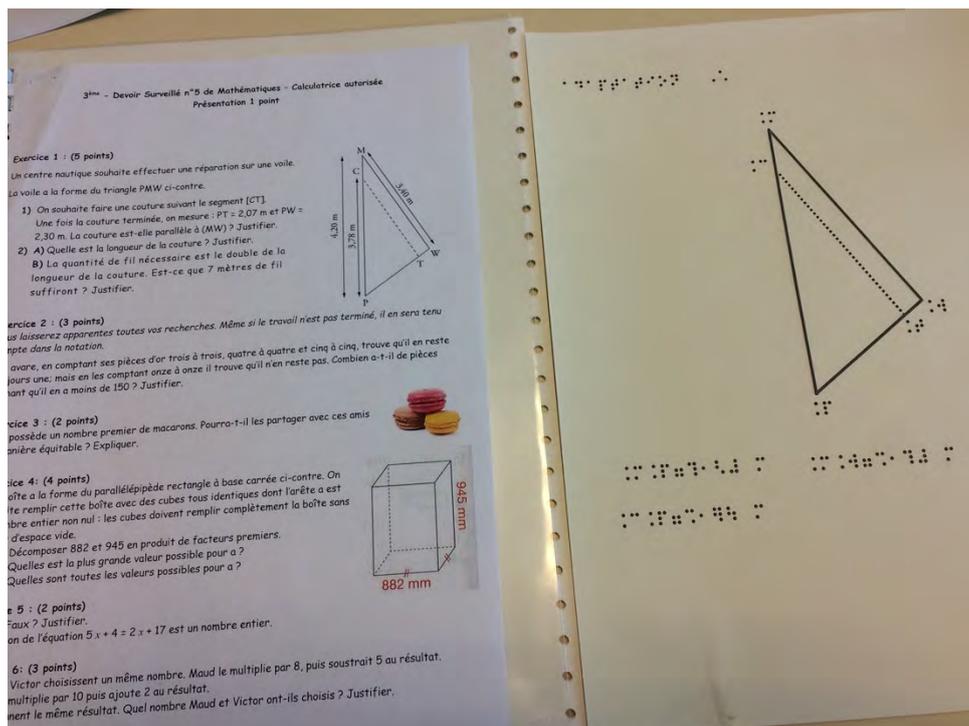


Figure 7. Exemple de l'adaptation d'une figure de mathématique en dessin en relief.

Les élèves malvoyants disposeront soit d'une version PDF du manuel scolaire soit d'une version papier agrandie. Les élèves non-voyants auront majoritairement des versions braille papier. Dans certains cas, des versions numériques pourront être fournies. A cela s'ajoute des adaptations des éléments picturaux en dessins en reliefs (Figure 7)

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 (voir chapitre 4). 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.

3.3.2. Le numérique pour l'éducation et les élèves à besoins particuliers

Si les outils numériques permettent de s'adapter aux besoins particuliers des élèves, ce domaine de recherche est encore trop peu développé (Amadiou & Tricot, 2014). Les outils

numériques offrent des possibilités en matière de formats riches et variés qui laissent présager des possibilités en termes d'adaptation aux divers profils d'utilisateurs. Ils peuvent être catégorisés en fonction de l'objectif qui sous-tend leur usage eu égard au handicap : compenser, contourner ou rééduquer (Tricot, 2018).

1. Le numérique comme outil de compensation

Compenser la situation de handicap renvoie à l'atténuation des conséquences de l'incompatibilité entre les caractéristiques de la personne et l'environnement. Par exemple, la technologie va permettre d'améliorer l'accès aux contenus. Les logiciels d'agrandissements utilisés par les élèves malvoyants permettent par exemple d'augmenter la taille des informations présentes à l'écran tout en maintenant une qualité optimale de l'image. A noter ici qu'il ne s'agit pas d'outils numériques pour l'éducation spécifiquement.

2. Le numérique comme outil de contournement

Les technologies qui permettent de contourner la situation de handicap rendent accessible des informations qui ne le seraient pas autrement. Les lecteurs d'écrans par exemple permettent de traiter un contenu puis de le restituer via une synthèse vocale ou une page braille (sortie en tactile).

3. Le numérique comme outil de rééducation

De nombreuses recherches portent sur la réhabilitation des compétences sociales des élèves présentant un trouble autistique et les tablettes semblent avoir un rôle positif dans l'acquisition de celles-ci en contexte inclusif (Fage et al., 2018, 2019), notamment lorsque l'usage est médié par un pair (Bélangier et al., 2018). Outre les compétences sociales, des bénéfices de l'usage d'un agenda numérique disponible sur tablette pour le développement des compétences sociocognitives chez les personnes présentant un trouble autistique ont pu être mis en lumière (Mercier et al., 2018)

3.3.3. Tour d'horizon des aides techniques pour la scolarisation des élèves avec trouble de la fonction visuelle

Les aides technologiques englobent « tout produit, instrument, équipement ou système technique utilisé par une personne handicapée, fabriqué spécialement ou existant sur le marché, destiné à prévenir, compenser, soulager ou neutraliser la déficience, l'incapacité ou le handicap » (ISO 9999 : 2002). Les aides technologiques (matérielles ou logicielles) dont disposent les élèves avec trouble des fonctions sont généralement financées par l'Agence

Régionale de Santé (ARS) ou l'Éducation Nationale. Les outils grands publics ou les outils spécifiques peuvent être distingués.

Les outils informatiques grand publics généralement utilisés par les élèves avec trouble de la fonction visuelle sont : l'ordinateur portable, la tablette tactile et le smartphone. L'ordinateur portable est le plus largement utilisé. Il permet aux élèves de consulter les ressources pédagogiques, prendre des notes et réaliser leurs exercices. L'usage d'un ordinateur permet d'avoir accès à des contenus numériques plus facilement adaptables aux besoins de chacun.

Dans certains cas, les élèves avec trouble de la fonction visuelle sont équipés d'outils conçus spécifiquement pour répondre à leurs besoins en matière d'accès à l'information, comme par exemple, le bloc-notes braille (Figure 8) qui présente des fonctionnalités identiques à celles d'un ordinateur mais avec des interactions sont médiées exclusivement par la modalité braille.

Dans d'autres cas les élèves disposent de la combinaison d'outils grands publics et spécialisés. C'est le cas par exemple, lors du couplage d'un ordinateur portable avec une plage braille (

Figure 9), un télé-agrandisseur (Figure 10), une souris-scanner, etc.



Figure 8. Photographie d'un élève de primaire utilisant un bloc note braille.

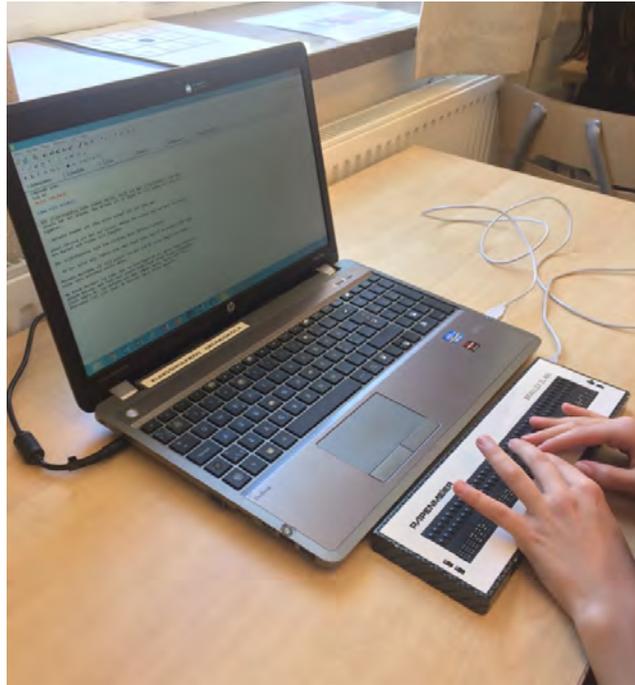


Figure 9. Photographie d'un élève de primaire utilisant une plage braille couplée à un ordinateur portable.



Figure 10. Photographie d'un télé-agrandisseur.

Concernant les logiciels, deux principales catégories sont à distinguer : les lecteurs d'écran et les agrandisseurs.

- Les logiciels d'agrandissement utilisés par les élèves malvoyants permettent d'augmenter la taille des informations présentes à l'écran tout en maintenant une

qualité optimale de l'image. Zoomtext (Freedom Scientific, Saint Petersburg, FL) est actuellement leader du marché mais la plupart des outils informatiques proposent aujourd'hui des systèmes embarqués de plus en plus performants et moins coûteux en termes de ressources informatiques. Aussi, certains élèves privilégieront l'utilisation de la loupe Windows.

- Les lecteurs d'écrans permettent de traiter un contenu puis de le restituer via une synthèse vocale ou une plage braille (sortie en tactile). NVDA (NVAccess)¹⁵ ou JAWS (Freedom Scientific, Saint Petersburg, FL)¹⁶ sont les plus utilisés en contexte scolaire. Les synthèses vocales proposent généralement des paramétrages personnalisables permettant de modifier la langue, le genre de la voix, la prosodie, etc. Elles permettent aussi une navigation par niveau hiérarchique via le clavier.

3.3.4. Intérêts et limites des aides techniques pour la scolarisation des élèves avec trouble de la fonction visuelle

Les aides techniques sont précieuses dans l'accompagnement des élèves avec trouble de la fonction visuelle. Cet intérêt se traduit par un équipement massif des élèves en aide technique. Rappelons que 64 % des élèves du collège bénéficient d'aides techniques selon le rapport du Ministère de l'Éducation National et de la Jeunesse (2019). Ces aides permettent de compenser et de contourner la situation de handicap (Amadiou & Tricot, 2014), la rééducation par les aides techniques relevant d'avantage de la prise en charge médicale et psychologique que de l'accompagnement scolaire. Par exemple, elles jouent un rôle de médiateur permettant de rendre un contenu accessible et peuvent être utilisées pour des activités de lecture ou d'écriture par l'élève avec trouble de la fonction visuelle (Lewi-Dumont, 2016).

L'efficacité des télé-agrandisseurs (Papadopoulos & Goudiras, 2005) et plus largement des outils techniques pour la basse vision (Corn et al., 2003) a été mise en évidence dans le domaine scolaire. Le rapport coût-efficacité semble être plus profitable pour les élèves lors de l'utilisation d'une aide technique en comparaison à des versions papiers agrandies (Douglas et al., 2009). Les auteurs avancent également comme argument un gain en autonomie et en qualité de ces stratégies « plus élégantes ». Les élèves peuvent utiliser leurs aides techniques

¹⁵ <https://www.nvda-fr.org>

¹⁶ <http://www.accessolutions.fr/Jaws-pour-Windows.html>

sur l'ensemble des supports sans avoir à demander préalablement que ceux-ci soient agrandis par une tierce personne. Cette idée de gain en autonomie peut renvoyer dans certaines situations à une volonté de « normalisation ». Mason (1999) pointe le faible usage des aides technologiques par les jeunes par pression des pairs, alors même qu'ils identifient les bénéfices de l'utilisation de ces aides. L'importance du regard des pairs et l'impact de celui-ci dans la décision d'utilisation d'un outil est pointé par plusieurs auteurs (Brulé et al., 2015; Carrière, 2012; Kinoe & Noguchi, 2014).

Un autre point important relatif aux aides techniques concerne le manque de formation des enseignants. Wong & Cohen (2011) soulignent l'impact négatif du manque de maîtrise des enseignants concernant l'utilisation des aides technologiques. Gaborit & Lewi-Dumont (2020) soulignent également ce point chez les enseignants spécialisés. Certains évoquent le fait de ne pas toujours être en mesure d'aider les élèves dans la prise en main de certains outils techniques par manque de compétence.

4. Spécificités des apprentissages scolaires chez les élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle

Les recherches sur la déficience visuelle montrent un impact de celle-ci sur le développement moteur (p. ex. difficulté d'acquisition de la motricité fine), cognitif (p. ex. complexité de générer une représentation mentale), langagier (p. ex. difficulté d'association image-mot), social (p. ex. participation réduite aux jeux collaboratifs) et affectif de l'enfant (p. ex. faible estime de soi). Les recherches mettent également en avant l'absence d'incidence de la déficience visuelle sur les mesures d'intelligence classiquement utilisées (p. ex. la Wechsler Intelligence Scale for Children ou WISC ; Galiano et al., 2018). Cependant, les troubles de la fonction visuelle engendrent des spécificités dans les apprentissages scolaires chez ces élèves.

Une première spécificité des élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle concerne l'attention et les stratégies d'exploration. Selon Hatwell (2003), ces élèves ne présentent pas d'amélioration sensorielle mais plutôt une amélioration de la fonction attentionnelle et des stratégies d'exploration, notamment haptiques.

L'accès à l'écrit via le braille est marqué par la lenteur du décodage. 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. En effet, la vitesse de lecture braille d'un bon braille est de l'ordre de 80 mots/minute, celle avec une synthèse vocale est de l'ordre de 150 mots/minute (si l'on ne tient pas compte d'arrêts éventuels ou de retours en arrière), alors que celle d'un lecteur visuel moyen (en mode silencieux) est de l'ordre de 250 à 300 mots/minute (hors stratégie de lecture spécifique). Certaines études ont, cependant, mis en avant des facultés auditives supérieures chez les personnes aveugles. Par exemple, si une personne voyante dispose d'une capacité d'écoute de 8 syllabes par seconde, une personne aveugle pourra déchiffrer jusqu'à 22 syllabes par seconde en moyenne (Dietrich et al., 2013), vitesse d'écoute incompréhensible pour une oreille non entraînée. En effet, les stratégies d'écoute, tel que l'écoute accélérée ou les stratégies d'écrémage (Ahmed et al., 2012) semblent particulièrement efficaces. Toujours concernant la modalité auditive, des études ont montré de meilleures performances à des tâches auditives de détection de cibles auditives (Collignon & De Volder, 2009) et de compréhension de texte oral (Dietrich et al., 2013).

Les chercheurs ont également questionné la nature des représentations mentales chez les personnes non voyantes. Les résultats indiquent que les personnes non-voyantes sont en mesure de construire des représentations mentales mais que leurs représentations sont par nature différentes de celles construites par les voyants (Galiano et al., 2018). Lorsque l'enfant non-voyant aura vu auparavant, il pourra avoir recours à une imagerie mentale proche de celle des voyants, contrairement à un aveugle précoce (Vanlierde & Wanet-Defalque, 2005).

Enfin, une spécificité des apprentissages scolaires des élèves avec un trouble de la fonction visuelle est qu'ils doivent effectuer des apprentissages spécifiques supplémentaires. Ils doivent, par exemple, apprendre à utiliser les aides techniques mais également la locomotion, le braille ou autres en fonction du type de déficience visuelle.

Nous proposons de discuter des spécificités des apprentissages scolaires chez les élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle en effectuant un parallèle avec la théorie de l'apprentissage multimédias.

5. La théorie de l'apprentissage multimédia au regard des spécificités des élèves atteints de trouble de la fonction visuelle

Les élèves déficients visuels, n'accèdent pas aux contenus pédagogiques de la même façon que leurs camarades voyants. Aussi, si l'on considère le schéma de Mayer présentant la théorie de l'apprentissage multimédias (*Figure 11*), plusieurs modifications sont à noter.

Considérons d'abord les élèves non-voyants, pour qui les différences semblent plus saillantes. Classiquement, le traitement des informations peut être réalisé soit par les yeux, soit par les oreilles. Dans le cas des élèves non-voyants, la fonction visuelle ne pouvant être sollicitée, ce sont les modalités auditives et/ou tactiles qui prennent le relais. Par exemple, conformément aux recommandations pour l'accessibilité des images sur le web, une image peut être décrite par un commentaire verbal accédé tactilement s'il est écrit en braille, ou auditivement s'il est oralisé par une synthèse vocale ou par autrui (l'AESH ou l'enseignant). L'image peut également être transformée en dessin en relief que l'élève va explorer tactilement. La modalité tactile, extrêmement puissante (Gentaz, 2009) peut soutenir très efficacement l'élaboration de représentations mentales chez l'élève. Cependant, les modalités auditive et tactile sont intrinsèquement très différentes de la modalité visuelle. L'accès séquentiel et l'impossibilité de traiter une quantité importante d'informations en simultané augmentent les exigences mentales associées au traitement des informations appréhendées auditivement ou tactilement. Aussi, une des particularités des apprentissages chez les élèves

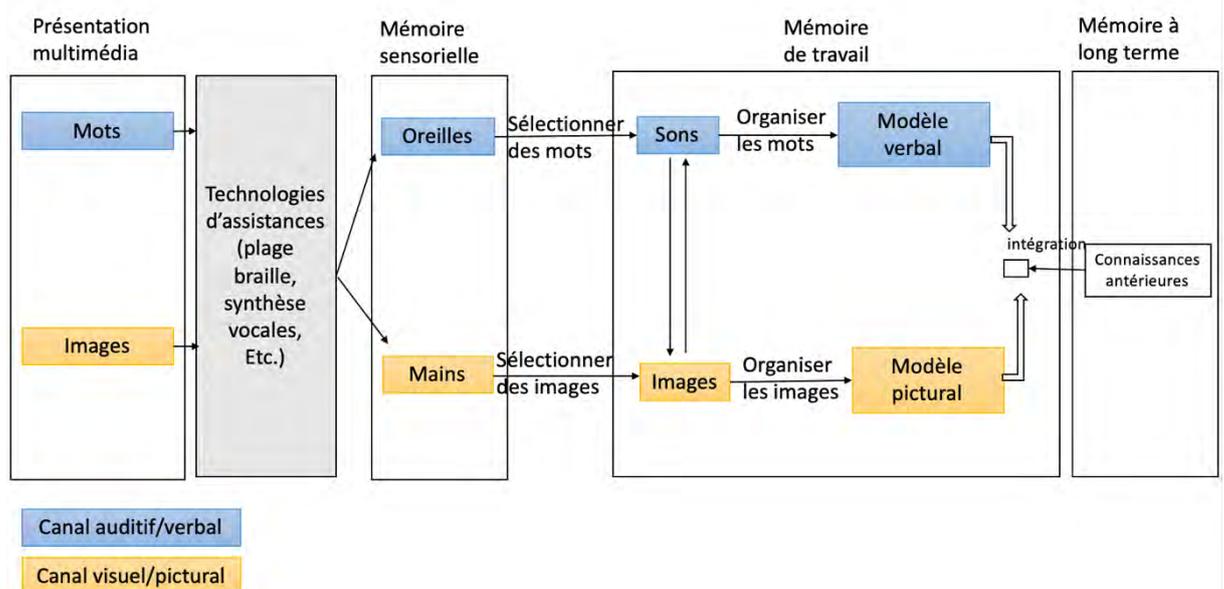


Figure 11. Adaptation du schéma de Mayer (2014) aux élèves non-voyants.

aveugles renvoie à l'exigence constante d'une « synthèse cognitive » (Bris, 2016) qui désigne la nécessité de reconstruire mentalement l'organisation de l'information à partir de prise d'informations auditives, tactiles, marquées par la sérialité et la fugacité. L'accès à l'information n'est pas global mais morcelé.

Pour les élèves malvoyants, si les modifications d'accès sont moins spectaculaires que celles observées chez les élèves aveugles, certaines conséquences pour le traitement cognitif semblent convergentes. Généralement, le type de présentation reste identique et sollicite donc les mêmes modalités sensorielles que leurs camarades voyants. Notons une exception, cependant, dans le cas où un contenu serait accédé auditivement (p. ex. accès à une leçon par le biais de la synthèse vocale). Si cela est techniquement possible, les aménagements mis en place pour ces élèves, en France, ne favorisent pas le déploiement de la modalité auditive. La spécificité des élèves malvoyants ne se situe pas dans le mode d'accès mais dans le fait que celui-ci est dégradé. L'exigence de « synthèse cognitive » s'impose également aux élèves malvoyants car l'utilisation du grossissement entraîne également un accès morcelé à l'information.

Dans la partie qui suit, sont examinés les principaux effets mis à jour dans les recherches sur l'apprentissage multimédias qui ont un impact sur la conception des contenus pédagogiques et qui pourraient avoir une incidence particulière chez les élèves déficients visuels. Compte tenu du faible nombre de recherches relatives à cette question, les références exploitées sont étendues à une population plus âgée et à des contextes plus larges (p. ex. les jeux vidéo).

5.1. L'effet multimédia

D'après les travaux réalisés dans le champ de l'apprentissage multimédias, le fait d'introduire des représentations graphiques (illustrations, schémas, etc.) dans des documents textuels améliore les apprentissages des élèves « tout venant », phénomène connu sous le nom d'« effet multimédias » (Butcher, 2014; Mayer, 2014b). L'efficacité du format mixte résiderait dans le fait que les informations sont stockées à la fois dans le canal auditif/verbal et dans le canal visuel, ce qui permettrait au moment du rappel d'utiliser l'un ou l'autre de ces deux canaux pour récupérer l'information. Les recherches ont aussi montré que le niveau d'expertise des apprenants joue un rôle important dans la manifestation de l'effet multimédias. Si les novices bénéficient d'un effet positif d'une présentation multimédias, cet effet semble

disparaître, voire dégrader les performances chez une population experte (Kalyuga, 2009; Lemarié et al., 2017).

Pour les élèves malvoyants, on peut faire l'hypothèse qu'ils bénéficient également de l'effet multimédias puisqu'ils peuvent explorer les contenus visuellement. Cependant, l'exploration de l'image en lien avec un texte écrit peut s'avérer complexe et laborieuse du fait des contraintes liées à l'agrandissement. En revanche, pour les élèves aveugles, le changement impliqué par les adaptations complexifie l'apparition de l'effet multimédias. Dans le cas où l'adaptation implique un dessin en relief et un commentaire verbal en braille ou audio, l'effet multimédias pourrait être conservé.

5.2. L'effet de l'attention partagée

Lorsque le design d'un document multimédia nécessite que l'apprenant focalise son attention sur deux sources d'informations différentes éloignées pour ensuite les intégrer, celui-ci voit sa charge extrinsèque augmenter : on parlera de l'effet de l'attention partagée. En effet, l'intégration de deux sources d'informations séparées entraîne des aller-retours entre ces deux mêmes sources et le maintien d'un nombre plus ou moins important d'informations en mémoire de travail, ce qui aurait des conséquences négatives pour les apprentissages.

Dans l'exemple ci-dessous, Sweller et al. (2011) illustrent le concept d'intégration spatiale qui vise à diminuer le partage attentionnel (Figure 12). Dans la première figure, l'élève doit réaliser des aller-retours entre le schéma et la légende pour établir une co-référenciation (Jamet & Erhel, 2006), pour ensuite les intégrer mentalement. À l'inverse, dans l'exemple de droite, les informations verbales de la légende sont directement insérées dans la figure. L'élève n'a alors pas besoin de partager son attention pour intégrer les deux sources d'informations.

L'effet de l'attention partagée serait principalement dû à de mauvais choix de conception. Aussi, (Mayer, 2014b) énonce deux principes permettant de limiter celui-ci : le principe de contiguïté spatiale, selon lequel les informations en lien doivent être rapprochées spatialement et le principe de contiguïté temporelle, selon lequel des informations liées doivent être rapprochées temporellement. Dans sa méta-analyse, Ginns (2006) montre, sur plus d'une cinquantaine d'études, la robustesse de ces résultats, aussi bien sur l'aspect spatial que temporel.

L'effet de partage attentionnel semble particulièrement critique chez les élèves déficients visuels. En effet, Cattaneo & Vecchi (2011) soulignent le caractère séquentiel des modalités auditive et tactile utilisées par les personnes non-voyantes pour accéder à l'information. Ces modalités ont des difficultés à traiter simultanément plusieurs stimuli et nécessitent l'intervention permanente de la MDT pour reconstruire le stimulus global, alors que la vision permet le traitement en parallèle des différents inputs et leur intégration. Cette séquentialité et les exigences cognitives qu'elle impose limiterait, selon eux, les représentations internes construites par les personnes aveugles. A noter que si les personnes malvoyantes continuent souvent d'utiliser leur résidu visuel, bien souvent, l'accès à l'information reste lui aussi séquentiel en raison des agrandissements opérés. Ainsi, sur une double page d'un manuel scolaire, si une tâche nécessite d'intégrer des informations séparées au sein de la page, un élève voyant pourra plus facilement qu'un élève malvoyant intégrer les sources d'information par des saccades oculaires rapides. A noter que ce problème n'est pas spécifique aux ressources pédagogiques numériques mais concerne l'accès aux documents structurés visuellement en général. Ainsi, dans le champ de l'accessibilité web, ce problème a déjà été identifié (Murphy et al., 2008).

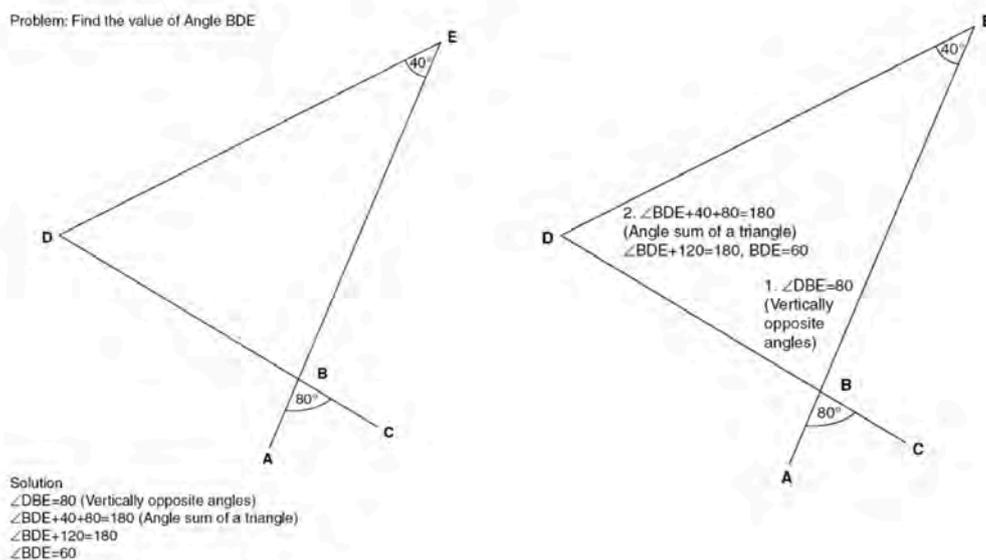


Figure 12. Exemple d'un format intégré et non intégré (extrait de Mayer, 2014, p. 208-209).

Une étude menée par Brock (2015) fournit un exemple d'effet de partage attentionnel lié à l'éloignement d'informations chez des personnes non voyantes. Par exemple,

l'intégration des informations verbales et spatiales contenues dans un dessin en relief accompagné d'une légende braille engendre des allers- retours qui sont coûteux pour des personnes aveugles (Brock et al., 2015).

Actuellement, bien souvent, les élèves aveugles disposent seulement des adaptations brailles papiers, souvent parcellaires, d'un manuel scolaire. Le fait de disposer d'une liste d'extraits sélectionnés par autrui permet difficilement d'appréhender la structure globale du manuel scolaire, ce qui peut complexifier la construction d'une cohérence globale du document, essentielle à sa compréhension (Colliot & Jamet, 2018).

Si les capacités de focus attentionnel au niveau auditif sont plus performantes chez les élèves aveugles que chez les autres élèves (Cattaneo & Vecchi, 2011), faire face à ces exigences sur le long terme s'avère très coûteux et les élèves évoquent souvent leur état de fatigue.

5.3. L'effet de modalité

L'effet de modalité met en avant la supériorité d'une présentation des informations sous deux modalités différentes (p. ex. image et explication orale) plutôt que sous une seule modalité (p. ex. image et texte écrit ; Low & Sweller, 2014; Mousavi et al., 1995).

L'effet de modalité semble être perceptible aussi chez les personnes aveugles. Ainsi, (Brock et al., 2015) montrent les bénéfices des cartes interactives (combinant dessin en relief et légende sous la forme de commentaires audio) en comparaison à des cartes uni-modales (dessin en relief et légende en braille) sur le temps de réalisation de la tâche et la satisfaction. Notons toutefois qu'aucune différence n'apparaît sur la performance. Des résultats similaires sont observés chez Mulet et al. (2020). La multimodalité semble généralement bénéfique pour les apprentissages aussi chez les élèves déficients visuels.

Notons que Leahy & Sweller (2011) obtiennent des résultats allant dans le sens d'un effet délétère de la modalité auditive lorsque le commentaire audio est trop long, ceci est observé chez des apprenants tout venant toutefois.

5.4. L'effet de signalisation

L'effet de signalisation propose que l'on apprenne plus profondément à partir d'un document multimédia lorsque des indices/ou signaux permettent d'identifier des éléments clefs ou de faire des liens entre des sources d'informations différentes. Selon Lemarié et al.

(2017), le rôle des signaux dans la compréhension est d'indiquer au lecteur l'importance d'une idée, les relations que les idées du texte entretiennent, et d'aider le lecteur à sélectionner les éléments pertinents/importants du texte et à organiser ces éléments en mémoire en une structure hiérarchique ; ils constitueraient ainsi des guides pour le traitement cognitif.

Les bénéfices de l'effet de signalisation sur la compréhension de textes expositifs ou dans l'apprentissage multimédias ont été mis en évidence par de nombreux auteurs (Lorch et al., 2013; Richter et al., 2016; Scheiter & Eitel, 2015; Schneider et al., 2018). Dans leur méta-analyse incluant 103 études, Schneider et al. (2018) mettent en évidence un effet positif de la signalisation sur la motivation, les temps de réalisation, les temps de fixation des zones pertinentes ainsi qu'une diminution significative de la charge mentale. Les auteurs distinguent cinq types de signalisation textuelle : signaux organisationnels (p. ex. les titres), les couleurs, les références textes-images (p. ex. voir l'image), l'intonation (p. ex. pour les documents audio) ou la combinaison de plusieurs types (p. ex. l'usage de couleur et de référence texte-image).

Il semble que les manuels scolaires exploitent de façon intensive les dispositifs de signalisation. Ainsi, dans le cadre d'une inspection ergonomique d'un manuel scolaire, Malti (2018) relève sur une double page plus de 14 types de signalisation différentes et 76 dans un chapitre (Figure 13).

Pour les élèves aveugles, l'accès à la signalisation dépendra de leurs propriétés de réalisation mais aussi de la qualité de balisage du document. Des signaux organisationnels linguistiques comme des plans ou des résumés seront accédés sans problèmes dans le cadre d'un accès braille ou audio. En revanche, si la signalisation est essentiellement typographique et dispositionnelle (gras, italique, sauts de ligne, etc.), il est impératif que le document soit correctement balisé pour que la signalisation soit restituée en braille ou en audio. Par exemple, un lecteur d'écran peut tout à fait identifier tous les titres, tous les liens d'une page d'un document numérique s'il a fait l'objet d'un balisage fonctionnel. La restitution en audio peut utiliser des indications explicites (« titre de niveau 2 ») ou utiliser des sons. Le braille se limite toutefois à la présence de majuscule et de minuscule. A noter toutefois que si les signaux utilisés sont très nombreux et variés, leur restitution et leur traitement par les élèves peut certainement devenir difficile à gérer.

À ce titre, les travaux de Sorin (2015) sont intéressants puisqu'ils visent à extraire formellement la sémantique des signaux typo, et à concevoir des stratégies de restitution

multimodales de cette sémantique en vue de la restituer aux utilisateurs non-voyants de la façon la plus efficace possible (p. ex. en diminuant la charge cognitive). Il propose notamment d'utiliser la spatialisation des sons pour donner des indications structurelles.

Pour les élèves malvoyants, la perception de la signalisation typo-dispositionnelle peut poser problème en raison du trouble visuel qui dégrade la perception des couleurs ou encore ne permet pas une discrimination visuelle fine. Également, des atteintes de certaines zones du champ visuel peuvent rendre plus difficile le repérage de l'organisation générale d'une page (p. ex. les différenciations de couleurs ou de typographies).

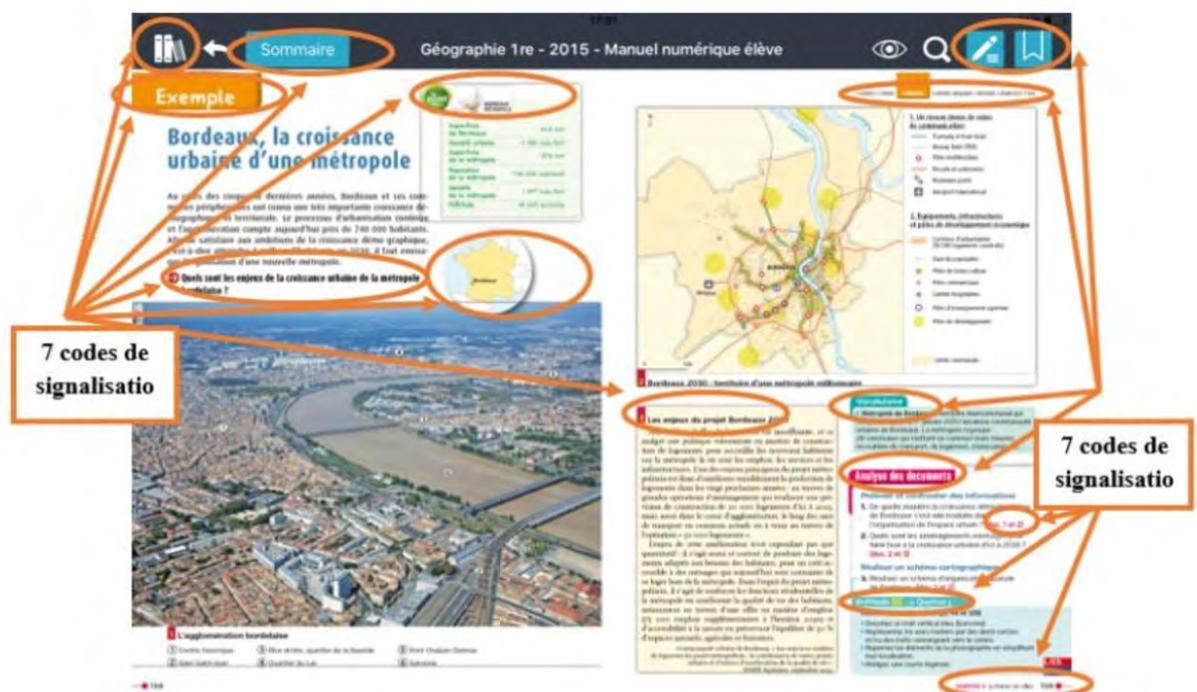


Figure 13. Illustration de l'exploitation intensive des dispositifs de signalisation (extrait de Malti, 2018, p.102).

5.5. L'effet de l'information transitoire

L'effet de l'information transitoire renvoie au fait que l'information disparaisse avant qu'elle n'ait eu le temps d'être traitée (Kalyuga & Singh, 2016; Singh et al., 2012). L'effet de l'information transitoire est spécifique à la modalité auditive puisque celle-ci ne permet généralement pas un retour en arrière pour permettre d'accéder aux informations. Par exemple, le discours du professeur, si l'élève n'a pas eu le temps de le noter, ne sera par la suite plus disponible. Ces informations peuvent être perdues avant même d'avoir pu être traitées par l'élève. Singh et al. (2012) ont ainsi comparé quatre modes de présentation : (1) Lecture normale, (2) Lecture segmentée, (3) Écoute normale et, (4) Écoute segmentée. Les résultats mettent en évidence une supériorité du texte écrit à ce même contenu oralisé. Leurs résultats indiquent également un effet négatif de la présentation d'un contenu audio long. Les auteurs recommandent une segmentation des contenus textuels et indique que l'effet de segmentation est encore plus bénéfique sous une forme auditive en comparaison à une présentation visuelle des informations verbales.

A notre connaissance, aucune étude de ce type n'a été réalisée auprès d'élèves déficients visuels. Il est difficile de dire si les élèves aveugles subissent également un effet de l'information transitoire. Il est possible que l'amélioration des capacités attentionnelles au niveau auditif atténue ou neutralise cet effet négatif de l'information transitoire.

5.6. L'effet de cohérence

L'effet de cohérence postule que l'on apprend mieux lorsque les éléments non utiles aux apprentissages sont exclus des ressources (Mayer, 2014b; Mayer & Fiorella, 2014). La présence d'informations non pertinentes pour les apprentissages va nécessiter que l'élève engage des processus de sélection de l'information qui peuvent s'avérer coûteux.

Si cet effet n'a pas été étudié dans un contexte d'apprentissage chez des élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle, il a été observé un effet de la cohérence dans le champ de l'accessibilité web pour les personnes aveugles. En effet, Giraud et al. (2018) ont montré les effets bénéfiques du filtrage des informations sur des mesures d'efficacité, de satisfaction et de charge cognitive pour des utilisateurs aveugles lors de l'utilisation de sites web. Si pour l'heure, aucune étude de ce type n'a été menée à notre connaissance, chez une population plus jeune en contexte scolaire, il apparaît que cette stratégie de filtrage est déjà mise en place par les professionnels de l'adaptation qui souvent font le choix d'alléger les contenus à adapter (Sorin, 2015).

Chapitre 3 L'accessibilité numérique

1. Accessibilité numérique : de quoi parle-t-on ?

Le terme « accessibilité » est défini de façon multiple en fonction des conceptions sous-jacentes. Selon Folcher & Lompré (2012), l'accessibilité doit être en mesure de permettre l'accès de la manière la plus égale possible aux environnements, physiques ou numériques, en s'adaptant à tous les utilisateurs potentiels. Pour Iwarsson & Ståhl (2003), l'accessibilité est atteinte lorsqu'un individu en situation de handicap peut fonctionner dans un environnement en autonomie et avec un niveau minimal d'acceptabilité. On notera également la définition de la délégation ministérielle (2006) :

L'accessibilité permet l'autonomie et la participation des personnes ayant un handicap, en réduisant, voire supprimant, les discordances entre les capacités, les besoins et les souhaits d'une part, et les différentes composantes physiques, organisationnelles et culturelles de leur environnement d'autre part.

Deux approches se dégagent de ces définitions : une approche technique et une approche holistique.

L'approche technique envisage l'accessibilité essentiellement comme la possibilité « d'accéder à ». Dans ce cadre, l'effort sera porté sur la compatibilité des outils avec les aides techniques. L'accessibilité technique, ou normative, consiste principalement en l'application des normes censées garantir un niveau minimal d'accessibilité (p. ex. s'assurer que le contenu soit compatible avec la synthèse vocale). En France, la loi n° 2005-102 du 11 février 2005 fixe le cadre réglementaire en préconisant le respect des recommandations internationales telles que les Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) pour l'accessibilité des contenus web. Elles ont donné lieu à plusieurs autres recommandations telles que la norme EN 301 549¹⁷ qui s'adresse aux organismes publics ou les recommandations pour l'Accessibilité et l'Adaptabilité des Ressources Numériques pour l'École (A2RNE).

Une autre approche, plus holistique, se préoccupe d'avantage du résultat et renvoie au concept d'utilisabilité. Cette approche distingue la possibilité d'accéder à une ressource de la possibilité d'interagir avec cette ressource de façon efficace, efficiente et satisfaisante. Si

¹⁷ http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301500_301599/301549/01.01.01_60/en_301549v010101p.pdf

l'accessibilité numérique est aujourd'hui un droit universel inscrit dans la convention relative aux droits des personnes handicapées par l'Organisation des Nations Unies (2006), elle ne garantit en rien que l'utilisateur puisse interagir de façon efficiente avec le contenu. Selon Howell (2008) « l'accessibilité assure que les utilisateurs accèdent au contenu, mais il n'est pas garanti ni qu'ils trouvent ce dont ils ont besoin, ni que cela soit dans un temps raisonnable »¹⁸ (notre traduction, p.67).

Si l'accès à l'information est évidemment un prérequis, il n'est pas suffisant. Cette distinction entre accessibilité et utilisabilité¹⁹ 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 WCAG²) ne sont pas forcément utilisables par des utilisateurs non-voyants.

2. L'accessibilité du web

Dans le cadre de cette revue de littérature, il a été choisi d'examiner la question de l'accessibilité web en raison du faible nombre de travaux existants sur la question de l'accessibilité des ressources pédagogiques numériques mais aussi parce que pour cette même raison, les recommandations actuelles pour la conception de ressources pédagogiques numériques accessibles sont largement inspirées de l'accessibilité web.

2.1. Les normes d'accessibilité web

Les WCAG ont été développées par le Web Accessibility Initiative (WAI), groupe créé par le Web World Wide Web Consortium (W3C) en 1997. Elles constituent les principales normes de référence pour l'accessibilité du web. L'objectif des WCAG est de fournir un référentiel pour la conception de site web accessible :

Suivre ces règles rendra les contenus accessibles à une plus grande variété de personnes en situation de handicap, incluant les personnes aveugles et malvoyantes, les personnes sourdes et malentendantes, les personnes ayant des troubles d'apprentissage, des limitations cognitives, des limitations motrices, des limitations de la parole, de la

¹⁸ « *accessibility ensures that users can reach content, but that there is no guarantee that they will find what they require or that this will be in a reasonable time.* »

¹⁹ La norme ISO 9241-11 définit l'utilisabilité comme « *le degré selon lequel un produit peut être utilisé, par des utilisateurs identifiés, pour atteindre des buts définis avec efficacité, efficience et satisfaction, dans un contexte d'utilisation spécifique* ».

photosensibilité et les personnes ayant une combinaison de ces limitations fonctionnelles. Suivre ces règles rendra aussi les contenus web souvent plus faciles d'utilisation aux utilisateurs en général²⁰.

La dernière version, WCAG 2.0 (2008), distingue quatre principes généraux. L'information doit être : perceptible, utilisable, compréhensible, robuste. Pour chaque principe, un nombre variable de règles guident le concepteur dans sa mise en œuvre (p. ex. règle 1.2.4 : fournir des sous-titres pour tout contenu audio en direct, sous forme de média synchronisé). Enfin, trois niveaux de conformité sont définis : A (le plus bas), AA et AAA (le plus élevé). En France, Braillenet²¹ a développé le système ACCESSIWEB afin d'évaluer le respect des WCAG 2.0. Ce système est aujourd'hui adopté comme base du Référentiel Général d'Accessibilité pour les Administrations (RGAA).

Si la production des WCAG a constitué une avancée sérieuse sur les plans technique et politique, elles ne sont pas toujours respectées par les concepteurs (Giraud et al., 2018) et ce, pour diverses raisons (voir Sorin, 2015 pour un recensement). Aujourd'hui la Fédération des Aveugles de France²² évalue à seulement 10% le pourcentage de sites accessibles.

2.2. Les difficultés que rencontrent les utilisateurs atteints d'un trouble de la fonction visuelle lorsqu'ils utilisent internet

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, comme ne pas arriver à faire ses courses en ligne) ou qui allongent de façon considérable les temps requis pour atteindre leurs buts (problèmes d'efficience). 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 (p. ex. problèmes de satisfaction ; Lazar, 2012; Lazar et al., 2015).

²⁰ <https://www.w3.org/Translations/WCAG20-fr/WCAG20-fr-20090625/> (consulté le 02-05-2020)

²¹ <https://www.brailenet.org/activites/accessiweb/> (consulté le 02-05-2020)

²² <http://www.aveuglesdefrance.org/recherche?keys=accessibilité+site+web> (consulté le 02-05-2020)

L'allongement des temps requis pour atteindre un but semble être une donnée solide que l'on retrouve chez plusieurs auteurs. Ce temps peut être multiplié par trois (Sperandio et al., 2002), voire jusqu'à 12 chez une population non-voyante. Dans leur étude, Giraud et al. (2011) demande à des utilisateurs voyants et non-voyants d'utiliser un site de e-commerce et un réseau social (Facebook) pour des tâches courantes (p. ex. acheter l'album de Jacques Brel). Elle observe des temps en moyenne jusque 10 fois supérieur chez les utilisateurs non-voyants sur le site de la Fnac et huit fois supérieur pour le site Facebook, avec une variabilité en fonction du niveau d'expertise. Les auteurs posent également la question de la causalité entre les problèmes rencontrés (p. ex. informations verbales peu claires) et le non-respect des guides et normes en concluant que celle-ci est plus complexe qu'il n'y paraît.

En ce sens, le travail de Power et al. (2012) apporte des éléments intéressants. Est évaluée la relation entre la conformité de la norme WCAG et l'accessibilité telle qu'elle est vécue par les utilisateurs en situation de handicap : quel pourcentage de problèmes d'accessibilité web rencontrés par les personnes ayant une déficience visuelle, serait résolu en mettant correctement en œuvre la WCAG 2.0 ? Cette expérience a été conduite avec 32 personnes non-voyantes et sur un total de 16 sites (publics et privés). Les tâches impliquaient des opérations simples telles que la recherche d'information. Les résultats sont intéressants et pour certains inattendus :

- Les participants ont rencontré 1383 cas de problèmes d'accessibilité sur les 16 sites web. Le nombre moyen de problèmes par site web était de 86,4.

- Contrairement à ce qui avait été observé avec la WCAG 1.0, le nombre moyen de problèmes d'utilisateurs lors de la comparaison de sites web non conformes et de sites conformes au niveau A de la WCAG 2.0, n'a pas diminué de manière significative. Idem en comparant les sites non conformes aux sites conformes tout confondus (il y a très peu de sites conformes aux niveaux AA et AAA).

Cet article montre bien qu'un site conforme au niveau A de la WCAG 2.0 ne signifie pas qu'il est accessible. Seulement la moitié des problèmes rencontrés par les utilisateurs ont été couverts et le passage de la WCAG 1.0 à la WCAG 2.0 n'a pas augmenté la couverture des problèmes des utilisateurs, comme on aurait pu s'y attendre. Pour les problèmes couverts par les WCAG 2.0, seulement 16,7% des contrôles directement pertinents sont mis en œuvre sur des sites web. La solution à présent fiable qui reste serait l'évaluation avec des utilisateurs. Un autre élément remarquable dans cette étude est que les non-voyants considèrent que les

problèmes rencontrés sont liés à l'utilisabilité (p. ex. à l'architecture de l'information) et non à l'accessibilité. Ces mêmes problèmes se posent aussi pour des personnes voyantes mais à des degrés moindres. Un résultat important de cette étude indique qu'il faut abandonner le paradigme basé sur la résolution de problèmes et passer à un paradigme basé sur l'accessibilité du web, où l'objectif premier est d'éliminer les problèmes rencontrés par les utilisateurs. En tirant les leçons de la recherche sur l'utilisabilité, la recherche sur l'accessibilité du web doit définir un ensemble beaucoup plus large de principes de conception basés sur les données des utilisateurs, et pas seulement sur les problèmes qu'ils rencontrent.

D'autres auteurs observent par ailleurs que des problèmes d'accessibilité identifiés grâce à une vérification de la conformité du code html ne correspondent pas aux problèmes d'accessibilité réellement rencontrés par des utilisateurs (Folcher & Lompré, 2012). En effet, les origines des difficultés que rencontrent les utilisateurs avec un trouble de la fonction visuelle 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 également 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 et al., 2011), d'utiliser plusieurs modalités sensorielles (tactile et auditive) pour traiter l'information (Murphy et al., 2008; Sorin, 2015) et de focaliser les efforts de traitement de l'information sur les informations pertinentes eu égard à la tâche (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. En fait, 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 en situation de handicap 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.

Dans ce cadre, partant du constat que le simple respect des normes d'accessibilité ne suffit pas à garantir l'accessibilité effective des sites web pour les utilisateurs aveugles, Giraud et al. (2018) proposent et évaluent des solutions d'interaction avec les sites web permettant aux utilisateurs aveugles de surmonter les difficultés habituellement rencontrées liées à la transposition de l'information visuelle dans la modalité auditive. Ils adoptent un principe de conception basé sur le filtrage de l'information non pertinente et redondante des pages web. Soixante-seize internautes aveugles ont participé à trois études évaluant l'efficacité du filtrage sur la navigation et la performance de recherche d'informations sur un site de e-commerce et visant à déterminer la méthode de filtrage la plus efficace. Les résultats indiquent que le principe de filtrage améliore l'efficacité, l'efficience et la satisfaction des utilisateurs, d'autant plus lorsque le filtrage consiste à limiter l'oralisation des contenus aux contenus nouveaux et pertinents sur une page par comparaison avec la page précédemment consultée.

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 & Paternò, 2008), proposer des techniques innovantes d'interaction avec les sites web (Giraud et al., 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.

3. L'accessibilité numérique pédagogique

3.1. Présentation des A2RNE

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 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 (A2RNE⁴) constitue une avancée certaine pour la conception de manuels scolaires numériques et plus généralement,

de contenus pédagogiques numériques accessibles et utilisables. Ces recommandations A2RNE s'inspirent des critères du Référentiel Général d'Accessibilité pour les Administrations (RGAA⁵) et les instancient au cas des ressources numériques pour l'éducation.

Elles tentent d'apporter une traduction des WCAG au contexte scolaire en distinguant des niveaux correspondant aux besoins spécifiques des élèves. Ces recommandations vont guider le concepteur dans sa démarche, par exemple en lui indiquant comment gérer une feuille de style ou hiérarchiser des contenus. Cinq thématiques sont distinguées : (1) Contenu de texte, (2) Images, vidéos et multimédias, (3) Consultation et navigation, (4) Tableau et formulaire, (5) Codes et gestion numérique des droits.

La dernière version des A2RNE propose une catégorisation de chaque thématique sur cinq niveaux. Le niveau 1 renvoie à un niveau ergonomique et graphique insuffisant alors que le niveau 5, optimum, concerne un outil nativement orienté accessibilité.

- Niveau 1 : Niveaux ergonomiques et graphiques insuffisants ;
- Niveau 2 : Adapté aux utilisateurs dits « ordinaires » ;
- Niveau 3 : Adapté aux utilisateurs avec des troubles ne nécessitant pas de ressource alternative ;
- Niveau 4 : Adapté aux utilisateurs avec des troubles nécessitant des ressources alternatives (Niveau A2RNE ; Niveau [AA] du RGAA) ;
- Niveau 5 : Nativement orienté accessibilité (Niveau [AAA] du RGAA).

Tous les critères d'une thématique doivent être complétés pour obtenir un niveau, sans quoi le niveau inférieur sera validé. Aussi, par cette approche sous forme d'une check-list, le concepteur pourra définir un niveau d'accessibilité de son support sur la base des cinq niveaux proposés. Notons que le nombre de critères varie en fonction du thème et du niveau. Par exemple, pour la catégorie images, vidéos et multimédias, un critère détermine le passage du niveau 2 à 3, alors que trois critères doivent être respectés pour pouvoir valider le niveau 5.

Conscient des difficultés que rencontrent les professionnels de l'édition pour répondre aux critères d'accessibilité, le Syndicat National des Éditeurs²³, par le biais du groupe Normes

²³ https://www.sne.fr/numerique-2/normes-et-standards/#documents_et_ressources (consulté le 02-05-2020)

et standards, met également à disposition des professionnels des guides et ressources visant à les accompagner dans leur démarche de mise en accessibilité.

3.2. Les difficultés spécifiques des élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle lors d'apprentissages impliquant le numérique

S'il existe de nombreux travaux dans le champ de l'accessibilité web sur les besoins des internautes non-voyants, il existe en revanche très peu de travaux sur les besoins des élèves non-voyants 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 et n'emploient que trop peu souvent des protocoles basés sur la comparaison, que ce soit la comparaison d'un groupe d'élèves non-voyants ou malvoyants avec un groupe d'élèves voyants ou la comparaison de différents outils chez des élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle.

Une première catégorie de problèmes identifiée dans la littérature renvoie à surcharge mentale chez les apprenants avec un trouble de la fonction visuelle (cf. Chapitre 2). Ainsi, Evans et Douglas (2018) font le postulat que les adultes aveugles sont désavantagés dans les domaines de la formation et de l'éducation en comparaison aux adultes voyants. Dans une précédente étude, ils ont mis en avant le fait qu'une personne aveugle utilisant un lecteur d'écran met en moyenne trois fois plus de temps qu'une personne voyante pour réaliser des tâches d'apprentissage dans un environnement de e-learning. Partant de ces résultats et s'appuyant sur les travaux passés (Coyne & Nielsen, 2001; Craven & Brophy, 2003; Morley et al., 1998), les auteurs testent cette hypothèse en considérant les indicateurs suivants : temps pour réaliser la tâche, perception de l'effort mental et performance. Dans cette étude réalisée auprès de 10 participants aveugles et 10 participants voyants dont l'âge est compris en 16 et 27 ans, il est demandé aux participants de travailler sur un contenu pédagogique en ligne (e-learning) relatif aux blessures liées à une pratique sportive. Le cours en ligne comprend des graphiques, du texte et des documents audio présentés de façon linéaire et comprenant 24 pages. Les durées des passations s'entendent entre 10 et 35 minutes. Une échelle d'effort mental est administrée à neuf reprises durant le test ainsi qu'un questionnaire à l'issue du test et deux jours après. Les résultats mettent en évidence des temps deux fois plus longs pour réaliser la tâche pour les aveugles en comparaison aux voyants. Les deux groupes énoncent un avis positif à l'égard du matériel d'apprentissage, cependant, la perception de l'effort mental que génère ce support est supérieure chez les aveugles en comparaison aux voyants.

Enfin, les scores de performances sont supérieurs chez les voyants immédiatement mais aussi deux jours après la session en comparaison aux aveugles. Les auteurs concluent leur étude en énonçant des propositions afin d'améliorer de façon immédiate l'expérience des utilisateurs aveugles telles que : limiter le nombre de réponses possibles afin de diminuer la quantité d'informations à maintenir en mémoire ou encore faire en sorte de présenter une alternative textuelle à l'ensemble des éléments visuels pertinents.

En effet, lorsque les utilisateurs atteints de troubles de la fonction visuelle interagissent avec des ressources 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). Evans & Shutterland (2003) proposent la distinction : faire, utiliser et accéder (*doing/using/access*) pour décrire les activités réalisées lors d'un e-learning. « Faire » concerne les activités en liens direct avec l'apprentissage, « utiliser » renvoie à la navigation et « accéder » à l'utilisation des outils d'assistances. L'analyse de la répartition des activités montre des temps d'utilisation significativement supérieurs aux temps de traitement des informations (Evans & Douglas, 2008). Par ailleurs, McLinden et al. (2016) pointent la nécessité de ne pas se focaliser uniquement sur un versant du problème de l'accessibilité des apprentissages, le « access to learning », mais de considérer également ce qui a trait au « learning to access ». En effet, un levier important pour l'accessibilité réfère aux compétences spécifiques d'utilisation des technologies d'assistance.

Sur un versant différent, celui de l'acceptabilité, il apparaît 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 (Hewett et al., 2014; 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 (Theofanos & 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 spécifiquement 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 et al., 2006). L'intégration de ces fonctionnalités dans les technologies grand public (ordinateurs, smartphones, tablettes) les rendent, semble-t-il, plus acceptables pour les utilisateurs/élèves que leur équivalent fonctionnel mais spécifique (p. ex. le lecteur d'écran). Or, de nombreux travaux en ergonomie des interfaces ont montré le rôle essentiel de l'acceptabilité sociale dans l'utilisation effective des outils (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 intègre la question de leur acceptabilité, notamment sociale. Le contexte de l'inclusion en milieu ordinaire rend probablement cette question plus prégnante qu'auparavant.

Pour rendre les ressources pédagogiques numériques pour l'éducation accessible, 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, 2006). Notons que dans le champ de l'accessibilité web, si le développement de pages web spécifiques pour les internautes aveugles ou malvoyants a été imaginé à une période, ce dernier n'est plus d'actualité grâce au développement des WCAG et en raison des problèmes d'acceptabilité que cela posait.

Côté « sur mesure », il s'agit de pratiques d'adaptations à des besoins éducatifs particuliers individuels (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 pédagogiques, en lien parfois avec des problèmes particulièrement prépondérants dans certaines disciplines (p. ex. mathématiques, éducation physique et sportive).

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.

4. Une limite des recherches sur l'accessibilité numérique : des populations majoritairement non-voyantes

Une limite qui ressort de cette revue de littérature est le fait que la majorité des travaux de recherche portant sur l'accessibilité numérique et les spécificités des apprentissages chez les élèves atteints de trouble de la fonction visuelle ont impliqué des élèves voyants ou aveugles. 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 malvoyantes 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 et al., 2003) que la malvoyance pour laquelle les atteintes de la vision peuvent être très variables en fonction de l'origine du trouble. Ce constat pointe la nécessité d'entreprendre davantage de travaux de recherche portant exclusivement sur les besoins spécifiques des personnes malvoyantes. 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.

**Partie II – L’ACCESSIBILITÉ DES
RESSOURCES PÉDAGOGIQUES : UNE
ANALYSE DE L’EXISTANT**

Si la littérature et l'analyse de la législation livrent des éléments utiles pour instruire notre question de recherche, l'absence ou le très faible nombre de recherches portant précisément sur l'accessibilité pédagogique numérique a pointé la nécessité de mener une étude exploratoire de terrain. L'objectif de cette étude était de décrire le contexte de l'inclusion scolaire du point de vue de la question de l'accessibilité des documents pédagogiques pour l'apprentissage, numériques ou non. Plus précisément, 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, constitueront les fondations des hypothèses de recherche que nous présenterons dans la problématique.

Concernant l'analyse des pratiques d'adaptation des ressources pédagogiques, il a été choisi de comparer la France et la Suède. La Suède, comme d'autres pays nordiques, propose une approche différente de celle de la France. Si cette recherche est ancrée dans un contexte français, les bénéfices d'une analyse des pratiques hors France sont multiples. D'une part, les outils et supports numériques semblent davantage intégrés dans le système éducatif suédois, et ce, depuis déjà plusieurs années. Ainsi, l'élargissement au cas de la Suède devrait permettre d'augmenter le nombre de situations observées lors desquelles les élèves sont confrontés à des contenus numériques. Par exemple, alors que le plan numérique pour l'éducation en France était lancé en 2015, dès 2011 plusieurs établissements Suédois ont équipé massivement leurs élèves d'iPad²⁴. D'autre part, l'accompagnement des élèves à besoins éducatifs spécifiques diffère considérablement entre ces deux pays, que ce soit sur les modes d'accompagnement ou sur les pratiques en matière d'accessibilité des contenus pédagogiques.

²⁴ <https://www.apple.com/fr/education/docs/ipad-in-education-results.pdf>

Chapitre 1 Accessibilité des ressources pédagogiques en contexte de l'inclusion : une étude exploratoire de terrain

1. Méthode

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 »²⁵ (Special Needs Education Authority, 2016) ; le rapport « Les structures ayant une activité d'adaptation des œuvres 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

²⁵ Lignes directrices et approche pour l'adaptation pédagogique

questions d'accessibilité numérique dans le champ associatif (un membre de la Fédération des Aveugles de France, un membre du Groupement des Professeurs et Éducateurs 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.

2. Résultats

2.1. 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.

Afin d'exemplifier ce processus, le cas de l'adaptation d'un manuel scolaire à destination d'un élève non-voyant sera présenté. 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 **recupérer (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.

Pour une présentation détaillée du processus d'adaptation des manuels scolaires en Suède, nous invitons le lecteur à consulter l'article issu de ce recueil (Castillan et al., 2019). La Suède adopte une approche différente de la France concernant l'adaptation des manuels scolaires numériques. 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).

2.2. Comparaison des deux approches en matière d'adaptation des contenus pédagogiques

Pour résumer les données concernant l'adaptation des contenus pédagogiques (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Tableau 1. *Tableau comparatif des adaptations des manuels scolaires en France et Suède en fonction de la nature du trouble.*

	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.

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. 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.

2.3. Modalités et difficultés d'accès aux ressources pédagogiques pour les élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle

2.3.1. *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 (McNiell, 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.

2.3.2. Les difficultés d'accès et de traitement des contenus 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).

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.

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.

2.3.3. 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 en situation de handicap visuel 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 en situation de handicap visuel 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.

Chapitre 2 Inspection ergonomique d'un manuel scolaire numérique

Les processus de conception des manuels scolaires papiers, relativement stables (Gérard & Roegiers, 2009), se voient aujourd'hui chamboulés par l'arrivée du numérique. La conception ne se limite plus aux informations présentes dans le manuel et à leur structuration mais doit intégrer les modalités d'interaction avec celui-ci. La version numérique offre des ressources et fonctionnalités supplémentaires avec lesquelles l'utilisateur va pouvoir interagir (p. ex. il pourra annoter un document, consulter une vidéo, réaliser l'exercice directement dans le manuel). Ces nouveautés soulèvent des problématiques d'accessibilité et d'utilisabilité jusqu'à présent inexistantes dans la conception de la version papier.

Conscient de ces problématiques, le Syndicat National des Éditeurs, par le biais de son groupe Normes et Standards²⁶, tente d'apporter des éléments de réponse. Il publie notamment des guides visant à aider les éditeurs dans leur démarche d'accessibilité.

Si des avancées considérables sont à noter dans le domaine de la littérature, les progrès concernant la conception de manuels scolaires numériques restent à accomplir car l'importante quantité de contenus imagés et sa structuration de l'information en double page semblent en faire un support particulièrement complexe à rendre accessible. Il semble nécessaire de faire un point sur les qualités ergonomiques du manuel scolaire numérique ainsi que son accessibilité en référence à des référentiels et critères avant de réaliser les tests auprès des utilisateurs. Une inspection ergonomique d'un manuel scolaire numérique a déjà été réalisée par Malti (2018), et se base sur des recommandations proposées dans le champ de l'apprentissage multimédias (Mayer, 2014). Les résultats indiquent la bonne mise en application de l'effet multimédias, de l'effet de redondance, de l'effet des problèmes résolus. L'effet des animations et des indices sociaux sont trop peu exploités. À l'inverse, le recours à la signalisation est jugé trop important. L'auteur indique également un effet de l'attention partagé et une absence de recours à différentes modalités sensorielles.

L'inspection ergonomique réalisée ici considère d'autres référentiels et a donc pour objectif de compléter les résultats de Malti (2018). En outre, la présente inspection s'attache davantage à évaluer l'accessibilité des manuels scolaires numériques.

²⁶ <https://www.sne.fr/numerique-2/normes-et-standards/> (consulté le 01-04-20)

L'inspection ergonomique ou audit ergonomique « consiste à évaluer les points forts et les points faibles d'une interface au regard des règles d'ergonomie » (Nogier et al., 2013, p. 232). Ici, l'objectif est d'évaluer l'utilisabilité et l'accessibilité des manuels scolaires numériques afin de pouvoir diagnostiquer l'origine des difficultés rencontrées par les utilisateurs atteints d'un trouble de la fonction visuelle. Afin de pouvoir mieux cerner pour la suite de nos travaux l'origine des difficultés rencontrées (problèmes liés à un manque d'ergonomie vs. problèmes spécifiquement liés à un manque d'accessibilité).

Deux référentiels de conception ont été utilisés pour l'évaluation : les critères ergonomiques de Bastien et Scapin (1993), d'une part, et les recommandations de l'A2RNE²⁷, d'autre part. Le premier fait référence à des recommandations générales de conception ergonomique, alors que le second s'attache à énoncer des recommandations spécifiques pour la conception de ressources pédagogiques accessibles. Si ces deux référentiels sont à destination des concepteurs, les heuristiques de Bastien et Scapin (1993) adoptent un point de vue centré sur l'expérience utilisateur, alors que les A2RNE renvoient davantage aux aspects techniques de la création d'un contenu pédagogique numérique. La complémentarité des données recueillies devrait permettre de mettre en lien les difficultés possiblement rencontrées par les utilisateurs atteints d'un trouble de la fonction visuelle avec les choix de conception des éditeurs.

Aussi, 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 apporteront une base de réflexion pour l'élaboration du protocole des tests utilisateurs qui seront réalisés dans la phase suivante.

1. Évaluation de la conformité aux critères de Bastien et Scapin (1993)

1.1. Méthodologie

Les critères de Bastien & Scapin (1993) constituent des recommandations précieuses à destination des concepteurs. Ils distinguent huit catégories de critères principaux : (1) le guidage, (2) la charge de travail, (3) le contrôle explicite, (4) l'adaptabilité, (5) la gestion des

²⁷ <https://eduscol.education.fr/cid89501/accessibilite-et-adaptabilite-des-ressources-numeriques-pour-lecole.html> (consulté le 01-04-20)

erreurs, (6) l'homogénéité/cohérence, (7) la signifiante des codes et déterminations, et (8) la compatibilité. Chaque catégorie présente un nombre nul ou variable de sous-catégories (Tableau 2).

Ces critères permettent de guider les concepteurs dans la création d'un système. Le positionnement adopté est centré vers l'expérience du futur utilisateur. Par exemple, le critère incitation se traduit par « savoir avec quel élément je peux interagir » ou encore, « savoir où je me trouve dans la page ». Le concepteur, en se situant à la place d'un utilisateur, peut évaluer son dispositif au regard des critères énoncés.

L'inspection ergonomique réalisée ici est fondée sur l'évaluation de la conformité du manuel scolaire numériques aux critères de Bastien et Scapin (1993). Cette évaluation a été réalisée par deux évaluateurs.

Tableau 2. *Critères et sous-critères de Bastien et Scapin, 1993 (traduit par l'auteur).*

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
Charge de travail	1.4 Lisibilité
	2.1 Brièveté
	2.1.1 Concision
	2.1.2 Actions minimales
Contrôle explicite	2.2 Densité informationnelle
	3.1 Actions explicites
Adaptabilité	3.2 Contrôle utilisateur
	4.1 Flexibilité
Gestion des erreurs	4.2 Prise en compte de l'expérience utilisateur
	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	-

Pour qu'un critère soit validé, l'ensemble des sous-critères qui le composent doit être validé. Dans le cas où a minima un sous-critère n'est pas validé, le critère sera partiellement validé. Si aucun des sous-critères n'est validé, le critère sera non validé. Aucun désaccord n'a été observé entre les évaluateurs, néanmoins, certains critères ayant posé difficulté lors de l'analyse non compris ont fait l'objet d'une évaluation conjointe.

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 (Annexe 1 -). 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. En effet, si le fichier source d'un manuel scolaire numérique répond à l'ensemble des critères d'accessibilité mais que celui-ci est consulté via une application qui, elle, n'est pas accessible, alors celui-ci ne le sera pas non plus. Inversement, une application avec un bon niveau d'accessibilité ne suffira pas à rendre un fichier source accessible si celui-ci n'a pas été correctement conçu. Le fichier source concerne le contenu du manuel mais l'application gère les fonctionnalités et ressources disponibles. Par exemple, la possibilité d'annoter un texte est dépendante de l'application de lecture. Le choix de l'application répond à la volonté d'obtenir des données valides d'un point de vue écologique. En effet, aujourd'hui un élève qui achète un manuel scolaire numérique ne peut le consulter que sur l'application de l'éditeur du livre en question. Dans le cas présent, il s'agit de l'application Bibliomanuel²⁸.

1.1.1. Résultats

Les huit critères proposés par Bastien et Scapin (1993) ont été évalués sur le manuel scolaire numérique afin de vérifier leur conformité (Annexe 2).

²⁸ <https://biblio.manuel-numerique.com> (consulté le 09-05-2020)

La compatibilité (8). Ce critère renvoie au fait que l’outil est compatible avec les outils d’assistances. S’il correspond au huitième et dernier critère, il est en réalité un prérequis indispensable à l’usage d’un manuel scolaire numérique pour des élèves déficients visuels. 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®.

Zoomtext® et la loupe Windows® fonctionnent mais en mode dégradé. Il est possible de les utiliser mais la qualité de l’image est détériorée (p. ex. pixellisation importante). Notons que l’application Bibliomanuel dispose d’un zoom directement intégré qui pourrait constituer une solution alternative. Celui-ci sera présenté ultérieurement. La synthèse vocale, quant à elle, parvient à accéder à des portions de texte mais de façon incomplète et anarchique. L’impossibilité pour le lecteur de lire les informations dans leur intégralité et dans l’ordre provient du fait que d’une part, la gestion des droits numériques (GDN) bloque le lecteur et d’autre part, le fichier source n’a pas été balisé correctement (p. ex. il contient des images sans description textuelle, alors que la synthèse vocale ne peut traiter que des contenus textuels). L’incompatibilité avec les logiciels et outils d’assistances rend impossible l’utilisation de celui-ci par des élèves non-voyants.

Le critère de compatibilité n’est donc pas validé.

Le guidage (1) se décompose en plusieurs sous-critères : *l’incitation, le groupement, le feedback immédiat et la lisibilité*. Si le critère de feedback immédiat est validé (p. ex. le système réagit rapidement), les autres semblent partiellement validés. Par exemple, l’incitation renvoie au fait que l’utilisateur sache où il se trouve dans la page et puisse identifier les éléments avec lesquels il peut interagir. Or, un utilisateur malvoyant devra agrandir l’information présente à l’écran (p. ex. par le biais de l’outil de zoom disponible dans le manuel). Une fois la page agrandie, aucun dispositif ne permet de se situer dans la double page et il peut s’avérer très complexe de savoir si l’on se trouve sur la page de droite ou de gauche du fait de la présentation en double page. La lisibilité des éléments est également problématique si l’on considère un utilisateur malvoyant. Les contrastes sont trop faibles pour être distingués efficacement par un élève dont le type de déficience visuelle impacterait la discrimination des couleurs, par exemple.

Le critère de guidage n’est pas validé.

La charge de travail (2) considère deux sous-critères qui sont la *brièveté* et la *charge d’information*. Si l’utilisation des fonctions du manuel à réaliser sont simples, certaines

actions mériteraient de voir leur nombre de sous actions réduites. Par exemple, dans le cas d'un exercice consistant à répondre à des questions à propos d'un texte, la navigation entre les questions et le texte agrandi nécessite deux actions, alors qu'une seule serait possible. Il en est de même lors de l'usage de la trousse. Aussi, la densité informationnelle est trop importante. La double page présente de nombreuses informations non pertinentes pour la réalisation de la tâche (Figure 14).

Cependant, le manuel scolaire numérique donne la possibilité à l'élève d'agrandir des zones spécifiques. Cette fonctionnalité permet une diminution du nombre d'informations présentes à l'écran mais augmente les exigences de navigation. L'élève peut, par exemple, afficher seulement le texte ou seulement les questions. Aussi, la trousse ne respecte pas le critère de charge de travail. Cet outil présente plusieurs informations redondantes. La

Figure 15 correspond à une capture d'écran de la zone de la page 16 sur laquelle la trousse est activée. Sur cette vue, on aperçoit que plusieurs des pictogrammes présents sur les bandeaux du haut et de droite sont également présents dans une cadre orange qui constitue une sorte de trousse/boîte à outils. Au total, huit pictogrammes sont présents deux fois sur la même vue.

Le critère de charge de travail est partiellement validé.

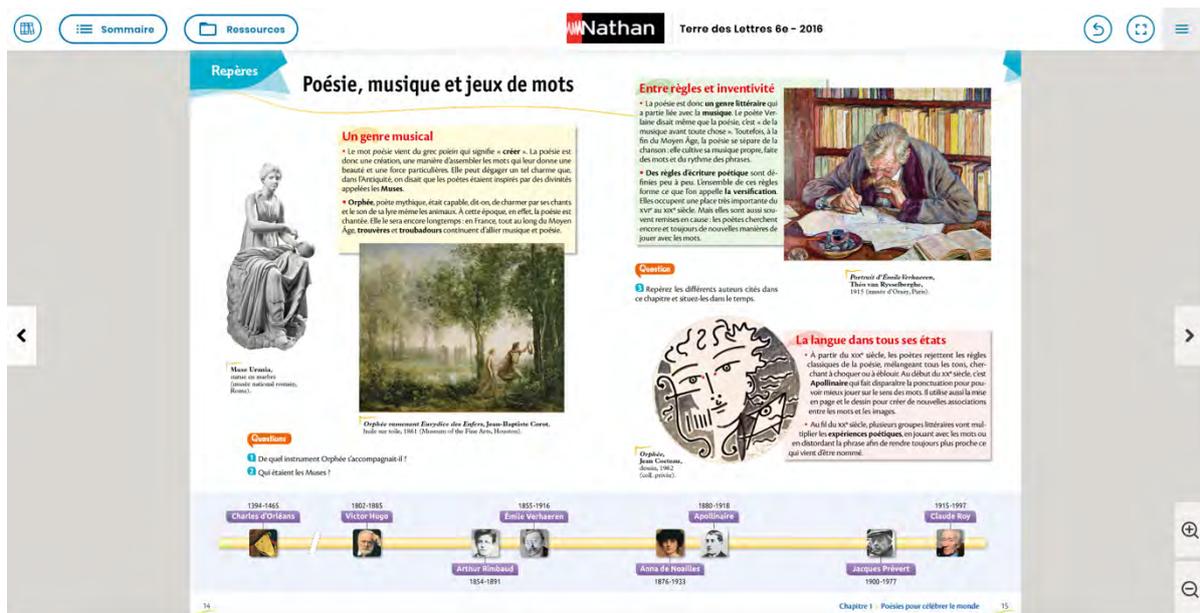


Figure 14. Exemple d'une double page pour illustrer la densité informationnelle.



Figure 15. Illustration des doublons dans la fonctionnalité trousse.

Le contrôle explicite (3). Le manuel scolaire numérique permet un contrôle important de l'utilisateur qui peut modifier ses actions comme il le souhaite. Des messages s'affichent en cas d'erreur, spécifiant le problème à l'utilisateur. Celui-ci peut ensuite corriger ses erreurs. Par exemple, lorsque l'utilisateur écrit, les données sont enregistrées mais celui-ci peut les supprimer à tout moment grâce à la gomme ou au bouton « supprimer tout ».

Le critère de contrôle est validé.

L'adaptabilité (4). Le manuel scolaire numérique peut être partiellement personnalisé (p. ex. la taille de la police de caractères). Cependant, compte tenu de l'hétérogénéité des profils des élèves malvoyants, les possibilités de personnalisation semblent trop faibles. Les élèves malvoyants ont des besoins en termes d'affichage très variés et parfois antagonistes. Par exemple, certains élèves auront besoin d'un affichage des couleurs inversé, d'autres d'un agrandissement très important, d'autres encore d'une police sans sérif en gras, etc. Actuellement, l'application propose seulement d'agrandir la taille d'affichage des informations, mais cela se limite aux éléments textuels. Pour agrandir les contenus textuels considérés comme une image, l'élève devra utiliser le zoom. Aussi, le manuel dispose d'un outil d'aide à la prise en main pouvant guider l'utilisateur.

Le critère de charge de l'adaptabilité est partiellement validé.

La gestion des erreurs (5), comprend *la protection contre les erreurs, la qualité des messages d'erreur et la correction* de celle-ci. En cas d'erreur dans le manuel scolaire numérique, des messages d'erreur apparaissent et l'utilisateur peut modifier son action. Lors de l'inspection, des messages d'erreur relatifs à un dysfonctionnement dans l'enregistrement des données est apparu. Il semble que ce type de problème soit lié à une absence connexion à un réseau Wifi pendant un laps de temps important, ce qui empêche les mises à jour éventuelles de l'application.

Le critère de la gestion des erreurs est validé.

L'homogénéité/cohérence (6). Ce critère renvoie, par exemple, à l'utilisation de signaux (titres, indicateurs d'importance, etc.) et de procédures homogènes dans l'ensemble du manuel scolaire. Si le recours aux signaux répond à ce critère, leur quantité pose question (voir plus bas). Quant à l'homogénéité des procédures, elle n'est pas toujours respectée. Par exemple, sur la figure ci-dessous, deux procédures différentes pour fermer une page sont présentées. Pour retourner à la double page lorsque l'on agrandit une zone, il faut cliquer classiquement sur la croix en haut à gauche. À l'inverse, quand la trousse est active, il faut cliquer en haut à droite et non plus en haut à gauche (Figure 16).

Un autre exemple du manque de cohérence est l'impossibilité de zoomer sur certains éléments du manuel. Si le zoom est particulièrement efficace, celui-ci se limite à la zone centrale du manuel. Le menu, les outils (p. ex. la trousse) et les éléments ajoutés (p. ex. la zone d'annotation) ne sont pas agrandissables.

Le critère de l'homogénéité/cohérence est donc partiellement validé.

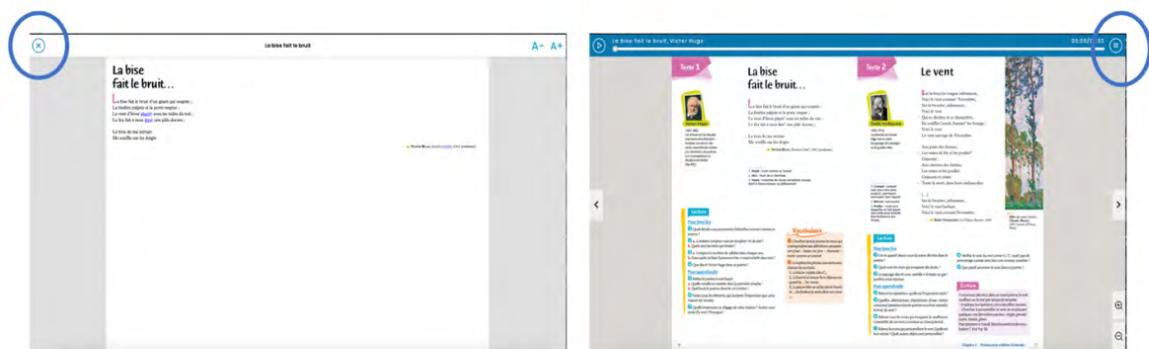


Figure 16. Exemple de deux procédures différentes pour fermer une page dans le manuel scolaire numérique.

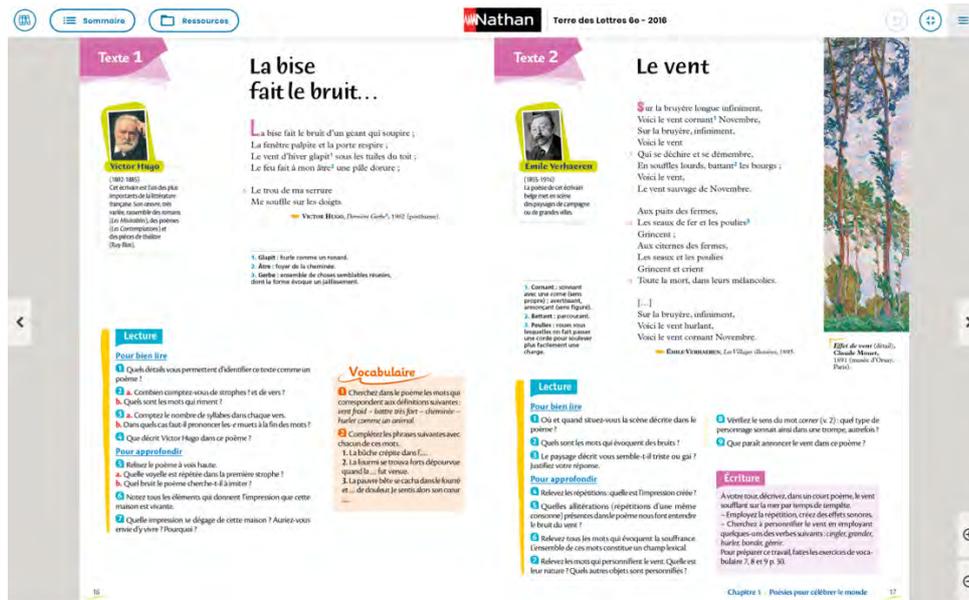


Figure 17. Capture d'écran des pages 16-17 permettant de constater le recours à de nombreux signaux textuels et dispositionnels.

La signification des codes et déterminations (7). Les standards habituels sont pris en compte, cependant, la quantité importante de codes pourrait nuire à la compréhension. La

Figure 17 ci-dessous est une capture d'écran de la double page 16-17. Au total, 12 couleurs différentes sont utilisées sur cette double page dont plusieurs nuances d'une même couleur (p. ex. trois variations d'orange). Outre les couleurs, les éditeurs ont recours à une grande diversité de signaux pour identifier différents objets du manuels (p. ex. positionnement spécifique du lexique).

Le critère signification des codes et déterminations est donc partiellement validé.

2. Évaluation de la conformité aux A2RNE

2.1. Méthodologie

L'inspection ergonomique du manuel scolaire numérique a considéré comme second référentiel les A2RNE. Ces recommandations ont été élaborées par le ministère de l'Éducation Nationale et sont à destination des concepteurs. Elles consistent en une adaptation/traduction des WCAG au contexte scolaire en distinguant des niveaux correspondant aux besoins spécifiques des élèves. Si l'objectif final est de garantir une accessibilité minimale des supports, les A2RNE adoptent une approche davantage centrée sur l'aspect technique. Ces recommandations vont guider le concepteur dans sa démarche. Par exemple, en expliquant à

celui-ci comment gérer une feuille de style ou bien la hiérarchisation des contenus. Cinq thématiques sont distinguées : (1) Contenu de texte, (2) Images, vidéos et multimédias, (3) Consultation et navigation, (4) Tableaux et formulaires, (5) Codes et gestion numérique des droits).

La dernière version des A2RNE propose une catégorisation de chaque thématique sur cinq niveaux (Tableau 3). Le niveau 1 renvoie à un niveau ergonomique et graphique insuffisant, alors que le niveau 5, optimum, concerne un outil nativement accessible (qui permet une utilisation par tous les profils d'utilisateurs).

- Niveau 1 : Niveaux ergonomiques et graphiques insuffisants ;
- Niveau 2 : Adapté aux utilisateurs dits « ordinaires » ;
- Niveau 3 : Adapté aux utilisateurs avec des troubles ne nécessitant pas de ressource alternative ;
- Niveau 4 : Adapté aux utilisateurs avec des troubles nécessitant des ressources alternatives (Niveau A2RNE ; Niveau [AA] du RGAA)
- Niveau 5 : Nativement orienté accessibilité (Niveau [AAA] du RGAA)

Tous les critères d'une thématique doivent être complétés pour obtenir un niveau, sans quoi le niveau inférieur sera validé. Aussi, par cette approche sous forme de liste de vérifications à effectuer, le concepteur pourra définir un niveau d'accessibilité de son support sur la base des cinq niveaux proposés. Notons que le nombre de critères varie en fonction du thème et du niveau. Par exemple, pour la catégorie images, vidéos et multimédias, un critère détermine le passage du niveau 2 à 3, alors que trois critères doivent être respectés pour pouvoir valider le niveau 5. Pour le détail de chaque critère, se reporter à l'annexe 3.

Comme pour les heuristiques de Bastien et Scapin (1993), les A2RNE ont été évaluées par deux évaluateurs. L'évaluation a été réalisée en binôme et non séparément. En effet, le caractère très technique des recommandations ne permettait pas à un des deux évaluateurs de réaliser seul cette évaluation.

L'évaluation a suivi la procédure de notation proposée au sein même des A2RNE. Les évaluateurs ont considéré par niveau les items et se sont arrêtés dès qu'un critère n'était pas respecté. À la différence des critères de Bastien et Scapin (1993), l'évaluation de la conformité aux A2RNE engage une analyse du fichier source du manuel scolaire. Ce fichier correspond au fichier final auquel aboutit l'éditeur et qui sera ensuite mis à disposition sur l'application de lecture. Ce fichier n'est jamais disponible pour le grand public. Seuls les organismes

bénéficiant de l'agrément leur permettant d'adapter des ouvrages pour un public « empêché de lire » peuvent en faire la demande sur la base Platon. Dans le cas présent, les éditions Nathan ont fourni le fichier source du manuel.

Si ce type d'évaluation pouvant paraître « technique », il est apparu nécessaire de passer par cette étape afin de bien comprendre les contraintes techniques liées à la conception de contenus accessibles qui constitue est un prérequis à l'élaboration d'une solution viable. Or, dans le cadre de cette thèse nous prévoyions de tester une solution de conception.

2.2. Résultats

Comme indiqué plus haut, les A2RNE distinguent cinq catégories, chacune pouvant avoir un niveau d'accessibilité compris entre 1 et 5.

Contenu de texte. Le critère *contenu de texte* obtient un niveau 1. La première évaluation de niveau pour cette catégorie amène à considérer cinq critères. Trois des cinq critères ne sont pas validés. Par exemple, le critère *BP 2-6 Signaler les mots ou groupes de mots écrits dans une langue autre que le français* n'est pas respecté. Ce critère a pour objectif de permettre à une synthèse vocale, par exemple, d'avoir des informations lui permettant d'adapter son fonctionnement. Ce point est particulièrement important lorsque l'on considère les livres de langues. Ces livres alternent entre explications en français et texte dans la langue à apprendre. Le critère *BP 1-2 Utiliser les fonctions du traitement de texte pour les listes d'éléments (item marqué par une puce ou une numérotation)* n'est pas non plus respecté. La plupart des listes d'éléments apparaissent en bloc, voire en image.

Le critère contenu de texte obtient un niveau 1.

Images, vidéos et multimédias. Un unique critère définit la validation du niveau 2 : *BP 3-1 Fournir, pour chaque image porteuse de sens (p. ex. non décorative), un texte court pour légende et un texte long en décrivant le contenu*. L'évaluation a révélé que les descriptions d'images n'étaient pas disponibles dans le fichier source. Comme nous l'avons mentionné juste avant, parfois des contenus textuels sont en fait des fichiers images correspondant à des scans du texte de départ. Lorsqu'aucun texte long est associé à ce fichier, le contenu textuel n'est pas accessible du tout pour un lecteur d'écran.

Le critère images, vidéos et multimédias obtient un niveau 1.

Consultation et navigation. Deux des quatre critères pour valider le second niveau ne sont pas respectés. C'est le cas du premier critère *BP5-2 Utiliser des contrastes de couleurs suffisamment élevés*, ainsi que du critère *BP 10-2 Définir les pages web et s'assurer de la conformité des informations de balisage et de fonctionnement*. Les éléments ne sont pas correctement nommés. La plupart d'entre eux sont insérés par des balises « div » qui ne présentent pas de sémantique particulière et qui ne peuvent être traités de façon spécifique par une synthèse vocale.

Le critère consultation et navigation obtient un niveau 1.

Tableaux et formulaires. *BP 8-1 Regrouper les informations de manière pertinente, donner à chaque champs et bouton de validation un intitulé explicite* constitue le seul critère pour valider le niveau 2. Dans le cas présent, les tableaux étaient insérés sous forme d'image, ne permettant pas la mise en place de bouton de validation.

Le critère tableaux et formulaires obtient un niveau 1.

Codes et gestion numérique des droits. Le critère 1 (BP 13-1) concerne le fait que *chaque ressource respecte le codage de la ressource qu'elle déclare en utilisant un validateur* semble validé. Cela permet de valider le niveau 2. Le critère suivant *BP 14-1 S'assurer que la gestion numérique des droits ne vient pas masquer les fonctions d'accessibilité mises en place* n'est, quant à lui, pas respecté. Il semble que les sécurités mises en place afin de protéger le fichier bloquent un certain nombre de fonctionnalités d'accessibilité, telles que la synthèse vocale par exemple.

Le critère codes et gestion numérique des droits obtient un niveau 2.

3. Conclusion et discussion

L'objectif de l'inspection ergonomique était d'évaluer l'utilisabilité et l'accessibilité des manuels scolaires numériques afin de pouvoir diagnostiquer l'origine des difficultés rencontrées par les utilisateurs atteints d'un trouble de la fonction visuelle. Elle a porté sur l'évaluation de la conformité à deux référentiels : les critères de Bastien et Scapin (1993) et les A2RNE. Ces deux référentiels constituent des guides pour les concepteurs dans la prise en compte des problématiques d'utilisabilité et d'accessibilité. Si les critères de Bastien et Scapin (1993) adoptent un positionnement centré vers la finalité de l'usage, les A2RNE considèrent

davantage l'aspect technique. En ce sens, ces deux référentiels jouent des rôles complémentaires.

Des extraits d'un manuel scolaires numériques de français (*Terre des lettres*, 6^{ème}, Nathan 2016) ont fait l'objet de l'inspection par un binôme d'évaluateur. Ces travaux ont abouti à l'évaluation de chaque critère des deux référentiels.

L'évaluation conduite met 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. 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.

Une des limites de cette évaluation est que l'inspection ergonomique n'a porté que sur un extrait du manuel. Or, certains critères peuvent être respectés sur une page et ne pas l'être sur une autre page. Néanmoins, les pages analysées sont a priori représentatives de ce qu'on peut trouver classiquement dans un manuel scolaire numérique.

Chapitre 3 Synthèse de l'analyse de l'existant et hypothèses

1. Les enjeux de l'accessibilité numérique pour les élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle

Un premier enjeu associé à l'accessibilité pédagogique numérique est d'ordre moral : il s'agit de s'assurer que les outils et ressources numériques pour l'éducation ne se constituent pas en obstacles supplémentaires aux apprentissages scolaires des élèves en situation de handicap mais au contraire, offrent des leviers pour dépasser des difficultés spécifiques et permettre aux élèves d'apprendre avec une plus grande autonomie.

Un second enjeu de l'accessibilité numérique est de garantir aux personnes avec un trouble de la fonction visuelle les mêmes possibilités de réussite, de participation et d'insertion dans la société. À ce titre, les auteurs du rapport sur l'orientation scolaire et professionnelle des jeunes déficients visuels des aveugles de France formulent l'hypothèse selon laquelle ces étudiants suivent les filières qu'ils supposent a priori accessibles. Ils rapportent également un niveau de formation généralement inférieur, tel qu'observé plus généralement dans la population des personnes en situation de handicap et estime, de façon générale, que 3/4 des personnes des personnes en situation de handicap ont un niveau inférieur ou égal au Diplôme National du Brevet (DNB) ou au CAP / BEP. Maćkowski et al. (2018) soulignent également le faible nombre d'élèves avec un trouble de la fonction visuelle dans les filières scientifiques en pointant, là encore, le manque d'accessibilité de ces filières.

Par ailleurs, si les politiques avancent des arguments majoritairement favorables à l'inclusion, dans une étude exploratoire Bayram et al. (2015) soulignent le fait que si l'inclusion sociale semble atteinte, l'inclusion académique échoue encore. Ainsi aujourd'hui, la question de l'accessibilité relève plus particulièrement de l'accès aux savoirs, aux apprentissages (Benoit & Sagot, 2008) quel que soit le trouble à l'origine du handicap (cognitif, sensoriel, physique...).

Enfin, la possibilité d'avoir à disposition des manuels scolaires numériques pourrait profondément modifier les pratiques d'adaptation. Pour l'heure, les éditeurs de manuels ont obligation de fournir aux associations assurant l'accompagnement des élèves déficients

visuels disposant de l'agrément, les fichiers sources des manuels scolaires (loi n°2006-961²⁹). Ces associations ont ensuite pour tâche de réaliser les adaptations et de les distribuer aux publics concernés. Si ces obligations se sont durcies ces derniers mois (p.ex. raccourcissement du délai de dépôt, formats de dépôt à privilégier), le périmètre d'adaptation des services de transcription tend à être modifié. En cas d'existence d'une version numérique commerciale d'un manuel scolaire, les élèves malvoyants seraient invités à acheter, au même titre que les autres élèves, le manuel scolaire. Cette disposition marque le passage d'une conception de l'accessibilité basée sur l'adaptation « sur mesure », au cas par cas, au concept d'« accessibilité native » selon lequel un document ou une interface devrait être d'emblée accessible à tous et limiter un travail d'adaptation supplémentaire. Si cela peut paraître utopiste, les outils et ressources numériques pour l'éducation peuvent constituer un levier pour l'accessibilité grâce à la diversité de leurs fonctionnalités (p. ex. possibilité d'un accès multimodal permettant à l'utilisateur de choisir).

2. Les manuels scolaires numériques : un levier pour l'accessibilité des apprentissages pour les élèves avec troubles de la fonction visuelle ?

Le numérique offre de nouvelles possibilités en matière d'interaction qui pourraient jouer un rôle important dans la scolarisation des élèves déficients visuels. Elles seront traitées sous l'angle du manuel scolaire numérique, bien que généralisable à l'ensemble des contenus pédagogiques numériques.

Un premier atout du manuel scolaire numérique renvoie au gain d'autonomie dans les apprentissages pour l'élève. Certaines fonctionnalités permettent en effet de réaliser des tâches jusqu'à présent attribuées à l'AESH. Par exemple, les versions braille papier étant très volumineuses, elles sont souvent stockées dans des locaux dédiés et il peut s'avérer très complexe pour un élève aveugle de retrouver ces documents ou de les transporter. L'assistant est donc souvent en charge de fournir à l'élève les supports nécessaires pour le cours. La version numérique permet à l'élève d'être plus autonome puisqu'il accède à tous ses manuels

²⁹ Loi n°2006-961, dite loi DADVSI relative aux droits d'auteur et aux droits voisins dans la société de l'information

sur son ordinateur et peut le faire seul. Une contrepartie est qu'il doit apprendre à gérer sa documentation.

D'autre part, les adaptations papier étant parcellaires, l'élève français ne dispose souvent pas d'exercices supplémentaires ainsi que d'autres contenus qui n'auraient pas fait l'objet d'une demande d'adaptation au préalable. En outre, l'adaptation sur demande rend nécessaire l'identification par anticipation de l'enseignant de la classe des ressources qu'il va utiliser afin que les services disposent du temps nécessaire pour réaliser l'adaptation. Rendre accessible le manuel scolaire dans son intégralité permettrait de rétablir l'équité d'accès aux contenus pédagogiques entre les élèves voyants, non-voyants et malvoyants. L'élève peut consulter, s'il le souhaite, les contenus qu'il juge pertinents sans barrières liées à l'absence d'adaptation. Il pourra, par exemple, aller lire des chapitres non étudiés en classe pour compléter ces cours. En ce sens, le manuel scolaire numérique offre aussi la possibilité pour l'élève non-voyant et malvoyant de réguler ses apprentissages comme pourrait le faire un élève voyant, en réalisant des exercices complémentaires par exemple. Aussi, le fait de disposer d'un manuel entier plutôt que d'une liste d'extraits sélectionnés permet d'appréhender la structure globale du manuel scolaire, ce qui peut favoriser la construction d'une cohérence globale du document, essentielle à sa compréhension (Colliot & Jamet, 2018).

De plus, le manuel scolaire numérique peut offrir à l'élève des fonctionnalités facilitant l'accès et la navigation, ce qui permet de libérer des ressources mentales pour l'apprentissage lui-même (Sweller et al., 2011). Par exemple, chercher une définition dans une adaptation Braille est très complexe, alors que la fonctionnalité de recherche par mot-clé ou par numéro de page d'un manuel scolaire numérique est peu coûteuse pour l'élève. Ainsi, les fonctionnalités supplémentaires disponibles dans les versions numériques permettent aux élèves d'avoir recours à des stratégies de compensation pour faciliter leurs apprentissages.

Le manuel scolaire numérique peut aussi permettre aux élèves de gagner du temps. Or, comme Sperandio & Uzan (2004) le soulignent, la gestion du temps est un enjeu majeur pour les personnes atteintes d'une déficience visuelle. En inclusion, les élèves doivent réaliser leurs exercices dans un temps limité. Bien que ces élèves bénéficient de temps supplémentaire, hors examen, le cours de l'enseignant se poursuit et l'élève n'a pas d'autre choix que de mobiliser des stratégies pour gagner du temps. Ainsi, lorsque la pression temporelle est trop importante, l'utilisation de la modalité audio pourrait constituer une aide précieuse (Dietrich et al., 2013).

Outre l'aspect relatif aux apprentissages eux-mêmes, le manuel scolaire numérique constitue aussi un support d'aide aux interactions entre l'élève et l'enseignant, ses camarades, son assistant, mais aussi ses parents. Si les élèves scolarisés dans des établissements spécialisés étaient encadrés par des professionnels maîtrisant le braille, en situation d'inclusion scolaire l'élève est pris en charge par un enseignant n'ayant souvent pas de compétence spécifique en braille. Le manuel scolaire numérique permet un accès en noir, un accès audio et un accès braille en simultané, autorisant les échanges entre voyants et non-voyants. En plus de favoriser les interactions, le fait qu'un élève avec un trouble de la fonction visuelle utilise les mêmes outils grand public que les élèves voyants peut favoriser l'insertion sociale et diminuer le sentiment d'exclusion souvent évoqué par ces élèves (de Verdier, 2016). Lors des entretiens réalisés, les élèves ont particulièrement insisté sur le souhait d'avoir, autant que possible, les mêmes supports et outils que leurs camarades.

Cependant, si les promesses du numériques sont enthousiasmantes, Amadiou & Tricot (2014) ont montré qu'il s'agissait dans certains cas davantage d'un mythe que d'une réalité.

Un prérequis à l'utilisation de manuel scolaire numérique pour les élèves déficients visuels concerne leur accessibilité. 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 pédagogiques numériques n'est donc qu'une partie des questions qu'il faut traiter pour assurer l'accessibilité pédagogique et sur laquelle nous souhaitons nous concentrer ici. Par accessibilité, nous considérons ici le fait que l'élève puisse accéder à la ressource et ce, directement ou par le biais d'un outil d'assistance, mais également son utilisabilité. Actuellement, une approche normative est adoptée visant au respect d'un certain nombre de normes. Or, les recherches dans le domaine de l'accessibilité du web ont montré que le respect de ces normes n'était pas gage de l'utilisabilité d'un outil. Aussi, le manuel scolaire numérique doit pouvoir être utilisé par les élèves déficients visuels de façon efficace, efficiente et satisfaisante.

Un élève non-voyant 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 & Swift, 2004) qui impliquent bien souvent de devoir sélectionner, organiser et intégrer des informations provenant de différents médias (Mayer, 2014b). 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 contenue dans les ressources pédagogiques telles que les manuels scolaires numériques, la navigabilité dans la ressource ou encore 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.

Enfin, un aspect souvent négligé, bien que déterminant dans l'utilisation de l'outil, renvoie à son acceptabilité. Or, les recherches sur l'utilisation des technologies d'assistance amènent à questionner les pratiques actuelles en matière d'adaptation des contenus pédagogiques puisque celles-ci sont centrées sur la mise à disposition de supports dédiés aux élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle.

3. Hypothèses de recherche

Le manuel scolaire numérique pourrait constituer un outil formidable pour la scolarisation des élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle. Cependant, la question de son accessibilité, de son utilisabilité et de son acceptabilité pour les élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle subsiste. Les éléments issus de l'état de l'art et de l'analyse de l'existant permettent de formuler les hypothèses suivantes.

Avant toute chose, rappelons que le manuel scolaire est inaccessible pour les élèves non-voyants. L'incompatibilité du manuel scolaire numérique avec les outils d'assistances utilisés par ces élèves rend son utilisation impossible. Ce problème pourrait en partie être résolu par la mise en conformité aux référentiels WCAG et/ou A2RNE. Si comme la littérature l'a

montré, le respect des normes n'est pas suffisant pour garantir une bonne utilisabilité (Petrie et al., 2004), il constituerait un premier niveau d'accessibilité technique et permettrait la réalisation de tests utilisateurs pour l'heure irréalisables. Aussi, les recueils à venir se concentrent sur les difficultés que rencontrent les élèves malvoyants.

Les résultats de l'inspection ergonomique, ont mis en évidence un nombre important de manquements aux critères de Bastien et Scapin (1993) et aux A2RNE. Ces résultats amènent à formuler l'hypothèse selon laquelle les utilisateurs de manuel scolaire numérique devraient rencontrer des problèmes liés à l'ergonomie de celui-ci. Ces problèmes devraient être accentués chez les élèves avec un trouble de la fonction visuelle. En effet, le manuel scolaire numérique étant conçu sur la base du profil d'un élève tout-venant, un élève atteint d'un trouble de la fonction visuelle rencontrera des problèmes spécifiques lors de l'utilisation de celui-ci pour des tâches d'apprentissages. Par exemple, l'effet de partage attentionnel mis en évidence par Malti (2018) devrait être accru chez les élèves malvoyants du fait de l'accès séquentiel et fragmentaire à l'information. Les données issues de l'état de l'art suggèrent une manifestation de ces difficultés sur les mesures de temps, d'efficacité et de charge mentale (Evans & Douglas, 2008; Giraud, 2014; Petrie & Bevan, 2009). Aussi, lors de l'utilisation d'un manuel scolaire numérique, un élève malvoyant devrait avoir des temps pour réaliser la tâche allongés, une efficacité moindre et une charge mentale plus élevée en comparaison à un élève voyant.

Enfin, le manuel scolaire numérique étant un outil grand public, les élèves devraient présenter des intentions d'usages favorables. Cependant, nous souhaitons explorer les éléments pouvant favoriser ou au contraire empêcher l'utilisation de celui-ci.

**Partie III – ANALYSE DES BESOINS
DES ÉLÈVES AVEC TROUBLE DE LA
FONCTION VISUELLE**

Dans la partie portant sur l'analyse de l'existant, nous avons brossé une description de la situation des élèves avec trouble de la fonction visuelle inclus en classe ordinaire lorsqu'ils doivent interagir avec des ressources pédagogiques. Dans cette partie, nous allons analyser plus finement les besoins de ces élèves lorsqu'ils doivent interagir avec des ressources pédagogiques numériques, plus particulièrement, les manuels scolaires numériques. La revue de littérature ayant mis à jour le manque de travaux sur cette question, nous avons choisi d'utiliser différentes techniques de recueil de données pour capturer les difficultés que rencontrent les élèves avec un trouble de la fonction visuelle lors de l'utilisation d'un manuel scolaire numérique, leurs origines, leurs conséquences mais aussi les perceptions subjectives associées à leur utilisation. 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.

La difficulté rencontrée dans le cadre de cette étude est que l'utilisation du manuel scolaire numérique est actuellement très peu développée chez les élèves présentant un trouble de la fonction visuelle et plus largement chez l'ensemble des élèves. Aussi, différentes techniques de recueil de données relatives aux usages ont été déployées. La première technique concerne l'administration d'une enquête par questionnaire sur les usages des manuels scolaires numériques au niveau national. La seconde renvoie à la réalisation d'entretiens semi directifs auprès d'élèves préalablement équipés de manuels scolaires numériques. Un test utilisateur a été également réalisé dans des conditions très contrôlées.

Le recours à ces différentes techniques devrait permettre d'obtenir des informations complémentaires (p. ex. les tests utilisateurs permettront d'identifier et de quantifier le type de difficultés rencontrées, alors que les entretiens aborderont davantage les aspects liés aux conditions d'usages et sentiments des élèves à l'égard du manuel) et de repérer d'éventuelles convergences. La combinaison des techniques de recueil permet également de pallier les difficultés liées à la taille réduite et aux problèmes d'accès à la population. Après une présentation des résultats par étude menée, nous proposerons une synthèse qui fournira une analyse des besoins des élèves avec trouble de la fonction visuelle.

Chapitre 1 Retours d'expériences d'élèves présentant des troubles de la fonction visuelle quant à l'utilisation de manuels scolaires numériques

1. Enquête en ligne

1.1. Objectifs

L'objectif de cette enquête en ligne était de décrire et d'analyser les usages des manuels scolaires numériques par des élèves avec un trouble de la fonction visuelle inclus en classe ordinaire et les perceptions associées à ces usages. Lorsque des élèves avec un trouble de la fonction visuelle sont équipés d'un manuel scolaire numérique, les élèves l'utilisent-ils ? Si oui, dans quels contextes ? Pour quels objectifs ? Quelles ressources, media et fonctionnalités sont utilisés et perçus comme utiles ? Quelles sont les difficultés perçues et rencontrées ? Au contraire, quels avantages tirent les élèves du manuel scolaire numérique ?

1.2. Méthodologie

Inspirée de l'enquête réalisée par Nikotopoulos (2017) sur les usages du manuel scolaire numérique chez les enseignants, une enquête a été lancée afin de recueillir les retours d'expériences d'élèves avec un trouble de la fonction visuelle ayant utilisé un (ou plusieurs) manuels scolaires numériques actuellement commercialisés. Les manuels scolaires numériques de plusieurs éditeurs, de différentes matières et de tous niveaux ont été considérés. Un questionnaire accessible a été conçu sur Qualtrics (Qualtrics, Provo, UT). Pour s'assurer d'un niveau d'accessibilité technique optimal, les normes de la WGAC ont été respectées (p. ex. navigation au clavier possible, compatibilité avec les synthèses vocales). Une évaluation de l'accessibilité a ensuite été réalisée directement via les fonctionnalités de l'application Qualtrics. Des aménagements dans le type de réponses proposées aux participants ont dû être réalisés (p. ex. impossibilité d'avoir recours à des pictogrammes dont les descriptions n'étaient pas disponibles sur l'application).

Le descriptif de l'étude et l'autorisation de consentement étaient affichés sur la première vue. Une fois la réponse l'affirmation « j'accepte que mon enfant participe à cette étude » cochée, le questionnaire démarrait. Les questions abordaient quatre thématiques : l'équipement, le contexte d'utilisation, les fonctionnalités exploitées et le sentiment à l'égard

du manuel scolaire numérique. Au minimum 17 questions étaient présentées aux participants (Annexe 4 -). Le questionnaire étant dynamique, certaines réponses des participants généraient des questions supplémentaires relatives à la fréquence d'utilisation (p. ex. si l'élève coche qu'il utilise le zoom, la question suivante sera relative à sa fréquence d'utilisation. S'il ne coche pas le zoom, il passe directement à la question suivante).

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. La confusion chez les élèves entre manuel PDF et numérique (éditeur) étant importante il était nécessaire d'introduire une distinction dès le début du questionnaire pour éviter toutes erreurs. Pour rappel, le fichier PDF est une copie figée du manuel scolaire papier et ne comporte pas de fonctionnalités supplémentaires, à l'inverse du manuel scolaire numérique éditeur qui, lui, permet par exemple de consulter des vidéos ou écouter des fichiers audios. Les données présentées ci-après ne concernent que les données relatives au manuel scolaire numérique.

Seuls onze élèves malvoyants ont répondu à l'enquête en ligne, deux filles et 9 garçons ($M_{age} = 15.5$ ans, $ET_{age} = 1.26$). 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.

1.3. Résultats

Les résultats ci-dessous concernent donc 11 élèves malvoyants qui utilisent des manuels scolaires numériques.

Avec quel équipement les élèves avec trouble de la fonction visuelle utilisent-ils le manuel scolaire numérique ?

Concernant les terminaux utilisés pour interagir avec les manuels numériques, l'ordinateur (8/11) arrive largement devant la tablette (3/11). Aucun élève n'utilise de Smartphone pour des activités scolaires.

En ce qui concerne la technologie d'assistance, les logiciels d'agrandissement (8/11) sont les plus utilisés. La synthèse vocale est nommée par un élève sur les 11. Notons que les autres élèves déclarent ne pas utiliser de logiciel d'assistance (2/11).

Dans quel(s) contexte(s) les élèves avec trouble de la fonction visuelle utilisent-ils le manuel scolaire numérique ?

Un seul élève utilise le manuel scolaire numérique dans une seule matière. Les autres élèves l'utilisent dans a minima trois matières scolaires. Au niveau des éditeurs, une hétérogénéité importante est observée (p. ex. Bordas, Hachette, Nathan, Delagrave etc.). Les élèves disposent souvent de livres provenant d'éditeurs différents. Par exemple, un des participants dispose de deux livres Nathan, un Magnard, un Bordas et un Belin. Le manuel numérique est principalement utilisé seul en classe (10/11) ou à la maison (9/11). Du point de vue de la tâche d'apprentissage, pour « apprendre une leçon ³⁰» (11/11), « faire un exercice » (11/11), « suivre en classe » (11/11) ou « produire un document » (11/11).

Quelles ressources et fonctionnalités du manuel scolaire numérique sont utilisées par les élèves avec trouble de la fonction visuelle ?

Si le manuel scolaire numérique contient plusieurs ressources et fonctionnalités, il semble que peu d'entre elles soient utilisées par les élèves. Si de nombreux élèves rapportent utiliser les textes (11/11) et des illustrations simples (10/11), seuls quelques-uns utilisent des illustrations interactives (2/11), des ressources audio (1/11), vidéo (1/11) et des exercices interactifs (1/11). Les fonctionnalités offertes par le manuel scolaire numérique ne sont pas utilisées de manière homogène : le zoom est utilisé par la totalité des élèves avec trouble de la fonction visuelle (11/11), la recherche par numéro de page est utilisée par la plupart d'entre eux (9/11), alors que les annotations textuelles (0/11) et l'audio (0/11) ne sont pas utilisés du tout par ces élèves.

Quelles sont les perceptions et les intentions d'usage des élèves avec trouble de la fonction visuelle ?

Au plan des perceptions d'utilisabilité et des intentions d'usage, les élèves utilisateurs du manuel scolaire le jugent « facile » (4/11) voire « très facile » (5/11) à utiliser. Seuls deux élèves le trouvent difficile à utiliser. En ce qui concerne la satisfaction de leurs attentes, pour la plupart des élèves les manuels numériques y répondent « bien » (8/11) ou « très bien » (1/11). Deux élèves considèrent que le manuel ne répond pas à leurs attentes. Une majorité d'élèves utilisateurs expriment le fait qu'ils utiliseront encore les manuels numériques à

³⁰ Au sens mémoriser un contenu.

l'avenir. Seuls deux élèves indiquent ne pas être sûrs de vouloir continuer à utiliser la version numérique.

Les élèves devaient ensuite donner leur avis sur plusieurs affirmations en fonction de leur accord ou désaccord avec celle-ci. Sur l'affirmation « le manuel scolaire numérique te permet d'être plus autonome », neuf élèves ont répondu être d'accord avec cette affirmation. Huit élèves sont d'accord avec l'affirmation « le manuel scolaire numérique favorise tes apprentissages ». Trois élèves ne sont pas d'accord avec l'idée selon laquelle le manuel scolaire numérique favorise leurs apprentissages. Enfin, dix élèves sont en désaccord avec les affirmations suivantes « le manuel scolaire numérique n'est pas adapté », « le manuel scolaire numérique ralentit tes apprentissages », et « le manuel scolaire numérique nuit aux interactions ».

Concernant les préférences, trois élèves préfèrent la version numérique, quatre élèves la version PDF, deux élèves aiment autant la version PDF que numérique et deux élèves n'ont pas exprimé de préférence.

Enfin, il était demandé aux élèves d'indiquer les avantages et inconvénients, selon eux, du manuel scolaire numérique. Sept des onze participants indiquent que le zoom constitue un avantage incontestable des manuels scolaires numériques (p. ex. « pouvoir zoomer comme on veut », « agrandissement des zones de texte instantané »), même s'ils émettent quelques limites (p. ex. « le zoom, même si c'est pas très pratique »). Le gain de place (2/11), de temps (1/11) et la facilité d'utilisation (3/11) sont aussi avancés comme avantage du manuel scolaire numérique par les participants.

Les utilisateurs avec trouble de la fonction visuelle identifient comme principal point bloquant une présentation de l'information en double page qui complexifie le traitement de deux informations spatialement éloignées (huit occurrences ; p. ex. « quand on doit comparer les images sur plusieurs pages », « ne pas avoir la présentation page à page », ou « difficultés de voir plusieurs pages en même temps »).

Un autre problème évoqué renvoie aux bugs répétés, notamment en raison d'équipement de qualité moyenne ou de compatibilité (trois occurrences ; p. ex. « lié à la lenteur de la mise en route de l'ordinateur », « bugs informatiques », « compatibilité avec toutes les versions de Word pas encore au point »). Un élève exprime des difficultés liées à l'absence de raccourcis clavier. Pour trois élèves, aucun problème n'est spécifié.

2. Entretien auprès d'un panel d'utilisateurs

2.1. Objectifs

Les objectifs poursuivis dans ce recueil sont identiques à ceux énoncés pour l'enquête d'usage : décrire et analyser les usages des manuels scolaires numériques par des élèves avec trouble de la fonction visuelle inclus en classe ordinaire et les perceptions associées à ces usages.

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 par nos soins. L'objectif était double : augmenter la quantité de données recueillies et obtenir des données plus qualitatives.

2.2. Méthodologie

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/lycéens (Tableau 3) de la région toulousaine ont participé à l'étude ($M_{age} = 13$, $ET_{age} = 1.26$). 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 par une question en début de questionnaire. 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. 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 (Annexe 5 et 6).

Tableau 3. Répartition des élèves par niveau scolaire.

Classe	Élèves présentant une malvoyance
T ^o	1
1 ^{er}	1
2 nd	1
3 ^{ème}	2
4 ^{ème}	5
5 ^{ème}	2
6 ^{ème}	2
Total	14

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 (pour la liste complète se référer à l'annexe 7). 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 (Annexe 8).

Plusieurs énoncés étaient verbalisés par l'expérimentateur, les participants devaient dire s'ils étaient d'accord ou pas avec ceux-ci. Cinq élèves sont d'accord avec l'énoncé « le manuel scolaire numérique favorise mes apprentissages » et quatre avec l'énoncé « le manuel scolaire numérique te permet d'être plus autonome ». Un seul élève est d'accord avec le fait que le manuel scolaire favorise ses interactions. Les élèves sont tous en désaccord avec les énoncés suivants : « le manuel scolaire numérique n'est pas adapté », « le manuel scolaire numérique ralentit tes apprentissages » et « le manuel scolaire numérique nuit aux interactions ».

Tableau 4. *Adaptation du questionnaire SUS à l'utilisation du manuel scolaire numérique.*

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

À l'issue de l'entretien, les élèves devaient également répondre au questionnaire System Usability Scale (SUS). Basé sur 10 énoncés dont le score est compris entre 1 et 5, le SUS (Brooke, 1996) permet d'obtenir un score allant de 0 à 100. Conscient des faiblesses et des avantages du SUS (voir Bangor et al. 2008 pour une évaluation détaillée du SUS), celui-ci a été administré aux participants de l'étude dans le but d'obtenir une mesure globale d'utilisabilité sur la base des retours verbaux des participants. Le mot « service » a été remplacé par « manuel scolaire numérique » ainsi que le terme « les gens » par « les élèves » (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Le caractère bref de la passation du SUS a constitué un atout, compte tenu des contraintes temporelles importantes associées à la passation d'expériences auprès d'enfants en situation de handicap.

2.3. Résultats

Les élèves avec trouble de la fonction visuelle utilisent-ils le manuel scolaire numérique ?

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.

Avec quel équipement les élèves avec trouble de la fonction visuelle utilisent-ils le manuel scolaire numérique ?

Concernant les terminaux utilisés pour interagir avec les manuels numériques, l'ordinateur (5/6) arrive encore largement devant la tablette (1/6). Certains jeunes verbalisent le fait qu'il est plus simple d'utiliser le manuel scolaire numérique via la tablette en raison du recours possible à la manipulation tactile (p. ex. pouvoir agrandir simplement en touchant l'écran). En ce qui concerne la technologie d'assistance, seuls les logiciels agrandisseurs (3/6) sont cités. Les autres élèves malvoyants déclarent ne pas utiliser de logiciel d'assistance, car ils en ont « assez des bugs répétés ». Ils utilisent alors le zoom disponible dans le manuel scolaire numérique ou lorsque celui-ci n'est pas disponible (p. ex. sur le menu) leur résidu visuel.

Dans quel(s) contexte(s) les élèves avec trouble de la fonction visuelle utilisent-ils le manuel scolaire numérique ?

Le manuel numérique est principalement utilisé à la maison (6/6). Seul deux élèves l'utilisent avec des camarades et trois seulement l'utilisent en classe. Du point de vue de la tâche d'apprentissage, « apprendre une leçon » (6/6) et « faire un exercice » (5/6) sont les principales tâches réalisées avec le manuel numérique. Les tâches « suivre en classe » (3/6) ou « produire un document » (3/6) semblent moins fréquemment réalisées.

Quelles ressources et fonctionnalités du manuel scolaire numérique sont utilisées par les élèves avec trouble de la fonction visuelle ?

Si le manuel scolaire numérique contient plusieurs ressources et fonctionnalités, il semble que peu d'entre elles soient utilisées par les élèves. De nombreux élèves rapportent utiliser les textes (6/6) et des illustrations simples (6/6), mais seuls quelques-uns utilisent des illustrations interactives (3/6), des ressources audio (3/6), vidéo (3/6) et des exercices interactifs (3/6). Les fonctionnalités offertes par le manuel scolaire numérique ne sont pas utilisées de manière homogène : le zoom est utilisé par la totalité des élèves avec trouble de la fonction visuelle (6/6) ainsi que la recherche par numéro de page (6/6). Les annotations textuelles (5/6) sont largement préférées aux annotations audio (1/6) qui sont très peu utilisées.

Dans la présente étude, le manuel scolaire numérique a obtenu un score moyen de 70.83/100 au SUS. Selon Bangor et al., (2008), un score en deçà de 70 représenterait une utilisabilité inacceptable, alors qu'un score supérieur à 85 indique une utilisabilité

exceptionnelle. Le manuel scolaire numérique présente donc une utilisabilité acceptable mais non optimale.

Quelles sont les perceptions et les intentions d'usage des élèves avec trouble de la fonction visuelle ?

Au plan des perceptions d'utilisabilité et des intentions d'usage, les élèves qui ont utilisé le manuel scolaire le jugent « facile » (1/6) et « super facile » (3/6) à utiliser. Deux participants ont une position neutre. En ce qui concerne la satisfaction de leurs attentes, les manuels numériques y répondent bien (1/6), voire totalement (4/6). Les élèves utilisateurs expriment le fait qu'ils utiliseront encore les manuels numériques à l'avenir de façon « certaine » (3/6) ou « quasi-certaine » (3/6).

Concernant les préférences, trois élèves préfèrent le manuel scolaire numérique à la version PDF, et trois élèves aiment autant la version numérique que la version PDF.

Les élèves ont été interrogés concernant les fonctionnalités disponibles dans la version numérique. Les six élèves indiquent que le zoom est utilisé mais que des améliorations doivent être apportées. Par exemple, deux élèves expriment une gêne quant au fait que le zoom ne soit pas homogène sur tout le manuel (p. ex. le menu et le sommaire ne peuvent pas être agrandis). La recherche par numéro de page est jugée très « utile » par cinq élèves (p. ex. « pratique, le professeur dit 'aller à la page...' »). Un élève indique son désir d'avoir la possibilité de réaliser une recherche par mot-clef. Si tous les élèves jugent utile l'outil d'annotation, une distinction entre l'annotation par clic droit et la trousse apparaît (p. ex. « La trousse est complexe. Ce n'est pas très simple. Il faut tout chercher. Les pictogrammes ça va à peu près mais pas trouvé pour changer la police (ex : Verdana) »). Les retours concernant l'outil d'annotation sonore indiquent une opinion relativement favorable malgré une absence d'utilisation (p. ex. « je n'en ai pas l'utilité mais peut-être plus tard. Ça peut être utile le soir à la maison quand je suis fatigué »).

Les participants pouvaient exprimer leur souhait d'ajout de fonctionnalités et d'outils dans le manuel numérique. Un élève a proposé l'ajout de liens vers YouTube. Un autre a formulé le souhait de pouvoir réaliser une recherche vocale à la manière de Siri (Apple, Cupertino, CA) ou Alexa (Amazon, Seattle, WA). Les autres élèves ont indiqué ne pas souhaiter d'ajout de fonctionnalités.

Pour finir, les élèves devaient indiquer les avantages et inconvénients, selon eux, du manuel scolaire numérique. Un élève n'a pas souhaité s'exprimer. Pour quatre élèves, la possibilité d'annoter le manuel scolaire numérique constitue son principal atout (p. ex. « Un PDF c'est plus pour lire le document mais avec le manuel on peut modifier »). La facilité d'accès est aussi un avantage pour quatre élèves (p. ex. « assez facile quand on sait l'utiliser »). Le zoom et le gain de place dans le cartable (en comparaison aux versions papier) sont aussi avancés comme arguments.

Seul trois élèves identifient des limites au manuel scolaire numérique. Les trois élèves évoquent un zoom parfois insuffisant et dont l'usage n'est pas homogène (p. ex. « parfois on ne sait pas si l'image peut être agrandie ou si c'est un bug du manuel ou juste si on ne peut pas l'agrandir »). Un élève évoque aussi les difficultés de navigation liées à la présentation de l'information sur la double page (p. ex. « le fait que ce soit en double page. C'est trop compliqué pour la navigation. Quand on zoom y a les deux pages donc c'est trop compliqué pour se déplacer »).

3. Synthèse et discussion

Les résultats issus de l'enquête relative aux usages des manuels scolaires numériques par des élèves avec trouble de la fonction visuelle et ceux issus des entretiens auprès d'un panel d'utilisateurs équipés de manuels scolaires numériques semblent converger.

D'abord, le faible taux de participation peut s'expliquer par plusieurs raisons. Il est possible que certains centres spécialisés n'aient pas souhaité transférer ce type de demande ou que les familles n'aient pas souhaité répondre aux questionnaires. Les élèves avec trouble de la fonction visuelle sont un petit groupe et à ce titre, ils peuvent parfois subir un trop grand nombre de sollicitations de participation à des recherches ou études. Une autre explication réside dans le fait que le déploiement des manuels scolaires numériques n'en est qu'à ces prémices et que très peu d'élèves français avec trouble de la fonction visuelle sont en mesure de participer à une telle enquête aujourd'hui.

A noter qu'aucun élève non voyant n'a répondu à l'enquête, probablement en raison de l'incompatibilité du manuel scolaire numérique avec les technologies d'assistance telles que les lecteurs d'écran.

Le manuel scolaire numérique est plutôt perçu positivement par les élèves qui énoncent une intention d'usage positive. Cependant, le faible taux d'usage observé chez les élèves équipés pour les besoins de l'étude amène à être prudent quant à l'interprétation de ces résultats. En référence à des phénomènes observés par les professionnels, il existe un écart entre l'ensemble des équipements et technologies mis à disposition des élèves et de leur famille, les perceptions relatives à ces éléments 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).

Au niveau des fonctionnalités spécifiques au manuel numérique, principal argument de vente de ces dispositifs, jugées positivement par les élèves, elles sont en réalité sous-exploitées. 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).

Chapitre 2 Test d'utilisabilité du manuel scolaire numérique auprès d'élèves voyants et malvoyants

1. Objectifs

Si les deux précédentes études ont apporté des éléments sur les usages rapportés des manuels scolaires numériques et sur les perceptions qu'en ont les élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle, elles ne disent rien de l'activité réelle d'utilisation. L'objectif, ici, est de capturer 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 et standardisé. Il est ainsi possible de prélever différentes mesures relatives à l'utilisation et d'analyser finement et objectivement les comportements d'utilisation. Ces données quantitatives et qualitatives viennent donc compléter les données issues des recueils précédent. 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.

Afin de distinguer des difficultés liées à l'ergonomie du document (c-à-d. son utilisabilité) de difficultés liées à son accessibilité, une comparaison avec des élèves voyants a été menée. En nous basant sur les résultats observés dans le domaine de l'accessibilité web ou de plateformes d'apprentissage en ligne (Coyne & Nielsen, 2001 ; Evans & Douglas, 2008 ; Giraud et al., 2017), nous avons émis l'hypothèse que, lors de l'interaction avec un manuel scolaire numérique pour effectuer des tâches d'apprentissage ou de navigation, les élèves malvoyants rencontreront des difficultés spécifiques (p. ex. localiser les éléments importants dans la double page, naviguer entre les questions et le document à lire) liées à l'utilisation du manuel qui entraîneront une augmentation de la charge extrinsèque, des temps de réalisation plus longs pour atteindre l'objectif ou encore des performances inférieures à celles de leurs pairs voyants. Les moindres performances à la tâche d'apprentissage et les temps de réalisation allongés seraient dus à une surcharge en mémoire de travail liée à une charge mentale extrinsèque trop élevée mobilisant des ressources qui ne seraient plus disponibles pour exécuter les processus pertinents pour réaliser la tâche.

2. Méthodologie

2.1. Échantillon

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 ; $M_{\text{âge}} = 13.6$, $ET_{\text{âge}} = 1.28$; étendue = 11-15) et un groupe de 20 élèves malvoyants (30% de filles ; $M_{\text{âge}} = 13.4$, $ET_{\text{âge}} = 1.28$; 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 collège, 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 (Annexe 9).

Les données de trois participants ont dû être exclues de l'analyse. Suite à des problèmes techniques, deux enregistrements ont échoué. Concernant le troisième élève, des contraintes organisationnelles ont conduit à réaliser le test en deux temps espacés d'une semaine, rendant ainsi la comparaison de ces données avec celles des autres élèves impossibles.

2.2. Matériel

Un ordinateur portable Dell 17 pouces fonctionnant sous Windows (Microsoft, Redmond, WA) était mis à disposition des participants. Le manuel scolaire numérique *Terres*

des lettres (français de niveau 6^{ème}, édition Nathan, 2016) était disponible sur l'application Bibliomanuel. Il s'agit du même manuel que celui utilisé dans le cadre de l'inspection ergonomique.

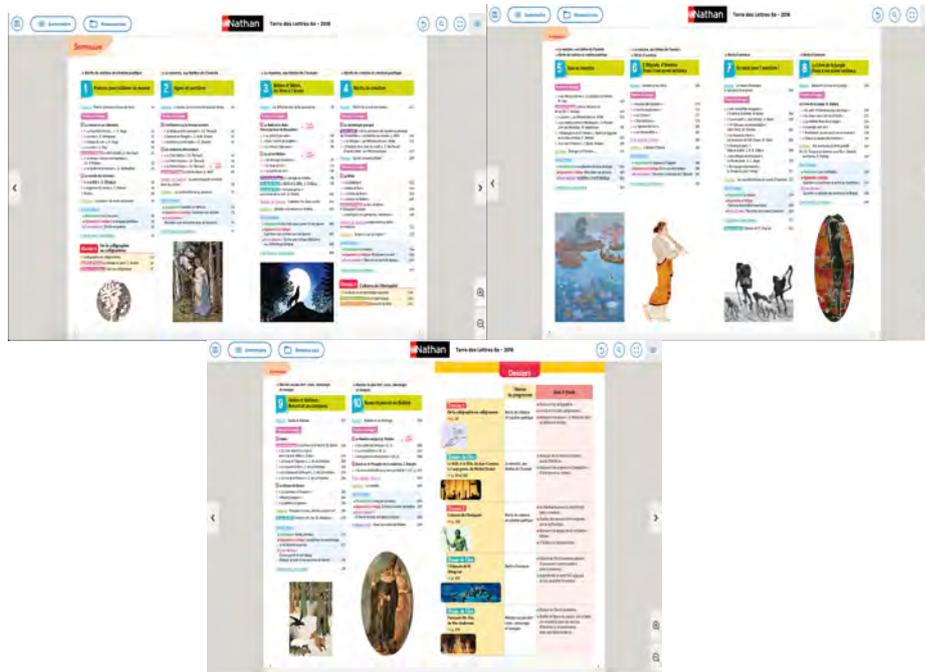


Figure 18. Les trois pages constituant le sommaire.

Si les participants devaient naviguer dans l'intégralité du manuel, les exercices nécessitaient qu'ils interagissent spécifiquement avec deux zones du manuel : le sommaire (Figure 18) et la page 16 (Figure 19).

Le sommaire constitue un organisateur avancé dont on sait qu'il peut jouer un rôle important dans le traitement du document (Colliot, 2018). Pour cette raison, il a été choisi de demander une tâche impliquant ce contenu (voir p. 116).

La page 16 (Figure 19) est une page représentative d'un manuel scolaire de français. Elle peut être divisée en quatre parties : le document à lire (Le poème *La Bise* de Victor Hugo), un document annexe présentant une photographie et la biographie de l'auteur, et deux zones de question. L'affichage se fait par double page. La page voisine (page 17) présente sensiblement la même structure que la page 16.



Figure 19. Capture d'écran de la page 16 présentant les exercices auxquels les élèves doivent répondre.

L'application et le manuel ont été préalablement téléchargés afin d'être ensuite consultables hors ligne. Toutes les actions effectuées sur l'ordinateur et les verbalisations ont été enregistrées par le logiciel CAMSTUDIO version 2.7.2 (TechSmith, Okemos, MI) installé sur l'ordinateur portable. Une souris était disponible pour les élèves qui le souhaitaient.

Les échelles de Likert utilisées pour les évaluations subjectives ont été agrandies en noir et blanc et mises à disposition sur support papier pour tous les participants (Annexe 10). En outre, divers questionnaires ont été administrés :

Un questionnaire de Sentiment d'Auto-Efficacité (SAE) que nous avons construit. L'élève devait se positionner sur une échelle de Likert allant de 1 (pas du tout capable) à 5 (tout à fait capable) en fonction qu'il se sente capable ou pas de réaliser un certain nombre d'actions dans le manuel scolaire numérique (Annexe 11).

Un questionnaire de désorientation (Ahuja & Webster, 2001), pour capturer le sentiment de désorientation perçue par les élèves (Annexe 12).

Un questionnaire de satisfaction. L'élève était questionné sur ces préférences et perspectives d'usage futur (Annexe 13).

L'ensemble des questionnaires et consignes étaient donnés verbalement par l'expérimentateur.

2.3. Procédure et tâches

Les passations de l'expérience étaient individuelles et duraient au total maximum 1 heure. La procédure comprenait cinq phases :

- a) Un pré-questionnaire portant sur les données démographiques et expériences scolaires ;
- b) Une phase de familiarisation avec le manuel scolaire numérique ;
- c) Une phase de test comportant quatre tâches écologiques au plan pédagogique ;
- d) Une phase de post-test durant laquelle des mesures subjectives étaient recueillies ;
- e) Une phase de débriefing avec les élèves.

a) Pré-questionnaire

Avant de commencer la phase de test avec les manuels scolaires numériques, les élèves ont été interrogés sur leurs expériences numériques dans le domaine scolaire. Des données sur la fréquence d'usage d'un ordinateur pour des tâches scolaires, l'usage de manuels scolaires numériques ainsi que leur intérêt pour le sujet (littérature française) ont été recueillis. Ces mesures ont été prélevées dans le but de vérifier l'équivalence des deux groupes d'élèves sur ces dimensions. La première mesure du Sentiment d'Auto-Efficacité (SAE) relative à la l'utilisation du manuel scolaire numérique était aussi réalisée à cette étape. L'objectif de celle-ci était d'identifier un éventuel écart de SAE après la phase de test mais aussi, d'identifier un possible écart de départ entre les élèves malvoyants et les élèves voyants.

b) Phase de familiarisation

Sur la base du tutoriel disponible dans l'application, l'expérimentateur réalisait une brève présentation de l'application (p. ex. présentation des diverses fonctionnalités). Ensuite, les participants disposaient de 10 minutes maximum pour se familiariser avec l'application et le manuel. Durant ce temps, ils étaient invités à poser autant de questions qu'ils le souhaitent et à tester les diverses fonctionnalités proposées. La phase de familiarisation pouvait être stoppée si le participant avait le sentiment de maîtriser l'application et d'être prêt à passer à la phase de test.

c) Phase de test

Au cours de la phase de test, les participants devaient effectuer quatre tâches nécessitant une interaction avec le manuel scolaire numérique : (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. Aucune tâche n'était contrainte par le temps. Les élèves pouvaient abandonner s'ils le souhaitaient. Si ces quatre tâches n'épuisent pas la totalité des tâches possibles sur un manuel scolaire numérique, elles constituent des tâches plausibles et représentatives de la diversité des tâches proposées. Elles permettent également d'évaluer comment les élèves utilisent des fonctionnalités-clés du manuel (annotation, navigation, interaction avec des contenus).

Lors de la tâche *d'appréhension de l'organisation générale du manuel scolaire*, les élèves disposaient du temps qu'ils souhaitaient pour explorer le manuel scolaire numérique (à partir du sommaire) afin de comprendre comment celui-ci est organisé. Cette tâche mobilisait l'exploration du sommaire. La consigne était la suivante : « *utilise le sommaire pour comprendre comment est structuré le manuel scolaire (les principaux chapitres et l'organisation à l'intérieur des chapitres). Dis-moi quand tu as terminé* ». Une fois l'exploration terminée, il leur était demandé de rappeler le nombre de chapitres présents dans le livre.

La tâche de *lecture-compréhension* nécessitait de mobiliser la fonctionnalité d'annotation et de gérer plusieurs sources ou zones : le texte à lire, les questions, les réponses à écrire. Il était demandé à l'élève de réaliser les exercices 1, 2a et 2b de la page 16 qui consistent à répondre à des questions portant sur un poème (*La Bise*, de Victor Hugo) disposé au-dessus de celles-ci (Figure 20). Les élèves étaient contraints de répondre aux questions à l'intérieur même du manuel scolaire numérique. Pour cela, ils pouvaient utiliser les différentes fonctionnalités du manuel : la trousse, le cadre d'annotation, la note vocale, etc.

Texte 1



Victor Hugo
(1802-1885)
Cet écrivain est l'un des plus importants de la littérature française. Son œuvre, très variée, rassemble des romans (*Les Misérables*), des poèmes (*Les Contemplations*) et des pièces de théâtre (*Ruy Blas*).

La bise fait le bruit...

La bise fait le bruit d'un géant qui soupire ;
La fenêtre palpite et la porte respire ;
Le vent d'hiver glapit¹ sous les tuiles du toit ;
Le feu fait à monâtre² une pâle dorure ;

Le trou de ma serrure
Me souffle sur les doigts.

— VICTOR HUGO, *Dernière Gerbe*³, 1902 (posthume).

1. Glapit : hurle comme un renard.
2. Âtre : foyer de la cheminée.
3. Gerbe : ensemble de choses semblables réunies, dont la forme évoque un jaillissement.

Lecture

Pour bien lire

- Quels détails vous permettent d'identifier ce texte comme un poème ?
- a. Combien comptez-vous de strophes ? et de vers ?
b. Quels sont les mots qui riment ?
- a. Comptez le nombre de syllabes dans chaque vers.
b. Dans quels cas faut-il prononcer les -e muets à la fin des mots ?
- Que décrit Victor Hugo dans ce poème ?

Pour approfondir

- Relisez le poème à voix haute.
a. Quelle voyelle est répétée dans la première strophe ?
b. Quel bruit le poème cherche-t-il à imiter ?
- Notez tous les éléments qui donnent l'impression que cette maison est vivante.
- Quelle impression se dégage de cette maison ? Auriez-vous envie d'y vivre ? Pourquoi ?

Vocabulaire

- Cherchez dans le poème les mots qui correspondent aux définitions suivantes :
vent froid – battre très fort – cheminée – hurler comme un animal.
- Complétez les phrases suivantes avec chacun de ces mots.
1. La bûche crépite dans l'...
2. La fourmi se trouva forts dépourvue quand la ... fut venue.
3. La pauvre bête se cacha dans le fourré et ... de douleur, je sentis alors son cœur ...

Figure 20. Extrait de la page 16 comportant le poème à lire et les questions auxquelles le participant doit répondre.

L'exercice interactif consistait à relier des paires de mots (Figure 21). Le mot de la colonne de gauche devait être relié à son antonyme sur la colonne de droite. Pour cela, l'élève devait réaliser un clic sur le mot choisi et le maintenir jusqu'au second mot pour constituer une paire. Une fois l'exercice terminé, l'élève devait cliquer sur valider pour obtenir son résultat. En cas d'échec, les mots non correctement appariés étaient mis en rouge et « dénoués », alors que les mots correctement assemblés apparaissaient en vert et restaient reliés. L'élève pouvait ensuite corriger ses réponses. Au bout du second essai, l'élève n'était plus en mesure de modifier ses choix.

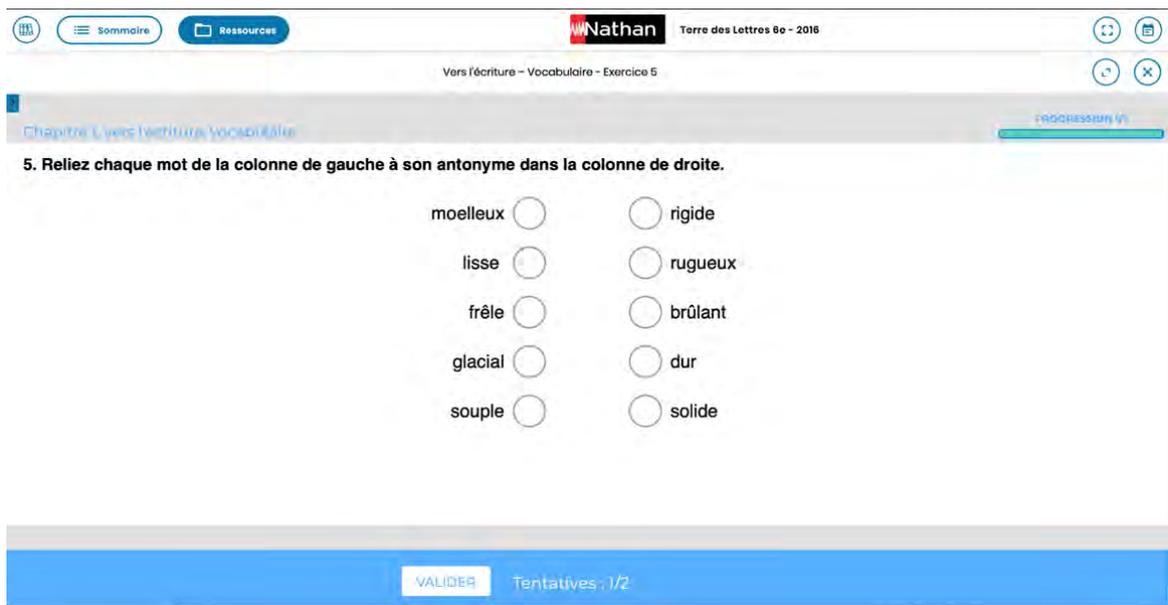


Figure 21. Présentation de l'exercice interactif.

La tâche de *recherche d'information* requiert la navigation dans le manuel scolaire numérique. Il était demandé à l'élève de se rendre à six endroits spécifiques du manuel scolaire numérique (p. ex. aller au chapitre 5, aller au sommaire, retrouver dans quel chapitre sont étudiés les monstres dévorateurs). Pour cela, l'élève était libre de se déplacer via les modalités de son choix (par numéro de page, en feuilletant le manuel, via le sommaire, via le menu, etc.).

Pour chaque tâche (Figure 7), la performance à la tâche d'apprentissage (réussite ou échec à l'exercice), la performance à la tâche d'interaction avec le livre (parvenir à utiliser les fonctionnalités du manuel), le temps de réalisation, l'effort mental perçu (Sweller, 2011) ainsi que le nombre de demandes d'aide ont été mesurés et analysés (Annexe 13 - et Annexe 10 -). Ce dernier indicateur a été utilisé car il peut refléter des difficultés rencontrées pour réaliser la tâche et pour interagir avec le manuel.

d) Post-test et débriefing

Une fois la phase de test terminée, des mesures subjectives du sentiment d'auto-efficacité, de désorientation (Ahuja & Webster, 2001) et de satisfaction ont été recueillies.

Enfin, les participants devaient justifier les choix des stratégies mises en place pour chaque tâche en précisant si, selon eux, d'autres stratégies étaient possibles. Pour un récapitulatif des tâches à réaliser voir la figure 22.

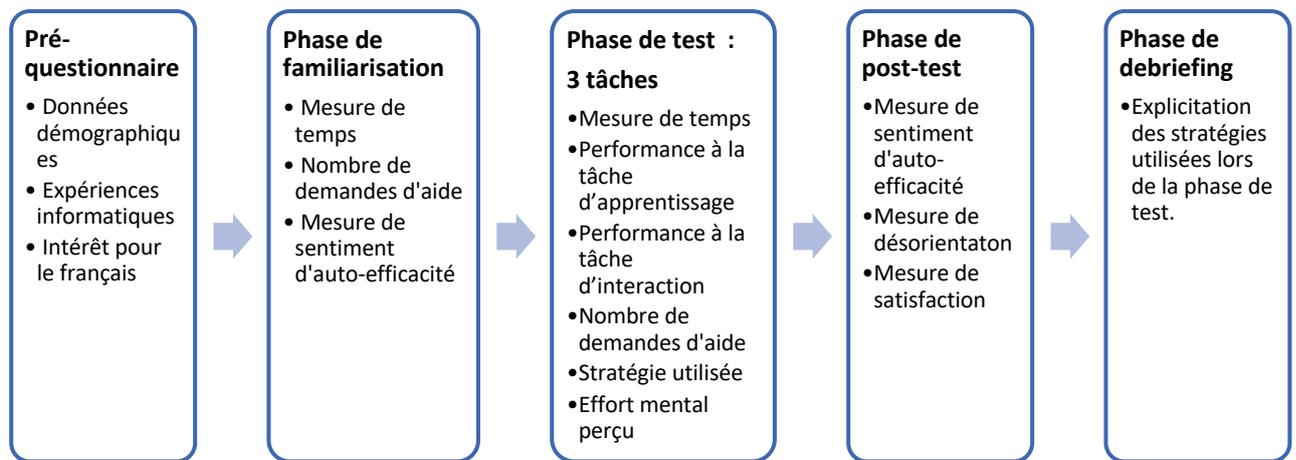


Figure 22. Récapitulatif des différentes étapes du test d'utilisabilité et des mesures associées.

3. Résultats

3.1. Analyses préalables

Les données mesurées par les pré-questionnaires permettent de vérifier l'équivalence entre les deux groupes d'élèves, et, dans le cas contraire, d'identifier d'éventuelles différences qui pourraient avoir un impact sur l'interprétation de nos résultats.

Concernant la répartition par niveau scolaire, elle s'étend de la 6^{ème} à la 3^{ème} avec une prédominance d'élèves de 3^{ème} dans les deux groupes. Le Tableau 5 présente la répartition des élèves par niveau scolaire. Rappelons que le manuel scolaire sélectionné était de niveau 6^{ème} afin de s'assurer que le niveau de difficulté ne soit pas supérieur au niveau des élèves.

Tableau 5. Répartition des élèves par niveau scolaire.

Classe	Élèves présentant une malvoyance	Élèves voyants
3 ^{ème}	8	16
4 ^{ème}	5	2
5 ^{ème}	5	2
6 ^{ème}	2	3
Total	20	23

Deux élèves ont indiqué présenter une dyslexie. Étant donné que chaque groupe comprend un élève dyslexique, nous avons conservé leurs données pour l'analyse.

Une autre mesure concernait l'intérêt pour le français. Les élèves malvoyants ($M = 3.15$; $ET = 3.50$) et voyants ($M = 3.22$; $ET = 3$) ont des scores d'intérêt sensiblement égaux.

Les deux groupes sont novices en matière d'utilisation de manuel scolaire numérique.

En revanche, les deux groupes diffèrent considérablement en matière d'utilisation des outils informatiques en contexte scolaire. Seulement 17,4% des élèves voyants indique utiliser un ordinateur fréquemment pour des tâches scolaires, alors que 90% des élèves malvoyants en utilisent. Certains élèves voyants ont spécifié leurs usages : utiliser l'ordinateur pour aller sur des sites d'entraînement, faire des exposés, rédiger le journal du lecteur et faire des brouillons.

A l'inverse, l'usage des ordinateurs chez les élèves malvoyants est quotidien. Ce point peut s'expliquer par le fait que les élèves malvoyants sont massivement équipés d'outils informatiques dans le cadre des mesures prévues pour accompagner l'inclusion scolaire. A l'inverse, si le plan numérique prévoit l'équipement des élèves en outils informatiques, les collégiens qui disposent d'outils informatiques sont encore peu nombreux. D'un part, les lycéens ont été équipés en priorité. D'autres part, l'équipement individuel est souvent remplacé par la mise à disposition d'une plateforme informatique partagée au sein de l'établissement. Ainsi, l'absence d'équivalence entre nos deux groupes concernant l'usage des outils informatiques en contexte scolaire marque une réalité de terrain. De fait, l'absence d'équivalence doit être considérer dans l'interprétation des résultats à venir.

3.2. Phase de familiarisation

Pour tester la différence de temps de familiarisation en fonction du groupe d'élèves, un test de Mann-Whitney a été utilisé, car un test de Shapiro-Wilk a montré que les données ne suivent pas une distribution normale. Aucune différence significative entre les deux groupes d'élèves n'apparaît concernant le temps consacré à la familiarisation, mesuré en secondes ($U = 229.50$, $p = .98$, $d = .01$). Le groupe des élèves malvoyants passe en moyenne autant de temps ($M = 394.1$, $ET = 184.3$) que celui des élèves voyants ($M = 396$, $ET = 159.8$) à se familiariser avec le manuel.

3.3. Résultats à la tâche d'appréhension de l'organisation générale

Après avoir exploré le sommaire du manuel, les élèves devaient indiquer le nombre de chapitres présents dans le manuel, soit 10 chapitres. De façon surprenante, seuls 28% des élèves fournissent une réponse correcte à la question, soit un taux de réussite à la tâche très faible. Au plan descriptif, les élèves malvoyants donnent plus fréquemment une réponse erronée (80%) que les élèves voyants (65%). Toutefois, un test de comparaison de proportions montre que la différence n'est pas statistiquement significative ($\chi^2 = 1.16, p = .28$).

L'analyse de l'activité de consultation révèle que les élèves, indépendamment de leur groupe, ont eu tendance à ne pas consulter l'ensemble des six pages consacrées au sommaire mais seulement la première double page, alors que le sommaire est constitué de trois doubles pages. Par conséquent, la réponse la plus fréquemment fournie par les élèves est le nombre 4 qui correspond au nombre de chapitres présents sur la première page double (14 occurrences).

Aucune différence significative n'apparaît entre les deux groupes concernant le temps d'exploration du sommaire ($U = 157.5, p = .08, d = .44$). Le groupe des élèves malvoyants ($M = 113.4, ET = 57.3$) et celui des élèves voyants ($M = 85, ET = 69.2$) obtiennent des moyennes proches.

3.4. Résultats à la tâche de lecture-compréhension

a) Performance de lecture-compréhension

Quatre élèves malvoyants (soit 20% du groupe) ont abandonné la réalisation de l'exercice avant sa complétion totale, alors qu'aucun élève voyant n'a abandonné. Concernant l'exactitude des réponses données aux trois questions portant sur le poème *La bise* de Victor Hugo, les participants obtiennent un score compris entre 0 et 3 en fonction du nombre de réponses correctes apportées aux 3 questions. Le codage des réponses a été réalisé en étant aveugle aux conditions. L'analyse des scores montre qu'il y a une différence significative entre les deux groupes ($U = 97.0, p < .001, d = 1.31$) allant dans le sens de meilleures performances pour le groupe des élèves voyants. Le groupe des élèves malvoyants obtient une moyenne de 1.35 ($ET = 1.23$), alors que le groupe des élèves voyants obtient 2.61 ($ET = .66$), soit un score deux fois supérieur. Aucun participant du groupe des élèves voyants n'obtient le score de 0, alors que neuf élèves malvoyants se voient attribuer un score de 0.

Ce dernier résultat peut donner lieu à différentes explications : (1) les élèves malvoyants ont plus de difficultés à répondre aux questions car ils ont un niveau de connaissances en français inférieur à celui des élèves voyants, (2) les difficultés qu'ils éprouvent à lire le texte, lire les questions et utiliser l'annotation pour saisir leur réponse consomment des ressources mentales en mémoire de travail qui, conséquemment, ne sont plus disponibles pour travailler à l'élaboration de la réponse, (3) la réponse a bien été élaborée mentalement mais les difficultés d'annotation sont telles que les élèves ont tendance à réduire la taille de leurs réponses de sorte qu'elles sont moins précises.

b) Indicateurs relatifs à l'utilisation du manuel

L'analyse de l'activité déployée par les élèves malvoyants dans les enregistrements vidéo révèle que la nécessité pour les élèves malvoyants d'utiliser un zoom pour accéder aux informations entraîne beaucoup d'aller-retours entre trois éléments : le texte à lire, les questions à instruire et les réponses à saisir. Si pour les élèves voyants, ces aller-retours ne nécessitent pas d'actions concrètes et s'instancient sans doute par des saccades oculaires rapides et précises (les trois éléments sont tous visibles à l'écran), pour les élèves malvoyants, ils sont beaucoup plus coûteux à effectuer. Ils doivent agrandir le poème, revenir à la vue principale, sélectionner les questions, de nouveau revenir à la vue principale, sélectionner le poème et ce, jusqu'à parvenir à avoir les informations nécessaires pour répondre à la question. Ces manipulations ne sont généralement pas effectuées par les élèves voyants qui ont tous les éléments à l'écran s'ils le souhaitent.

Concernant la lisibilité des annotations réalisées par l'élève via les fonctionnalités dédiées du manuel, elle est évaluée selon trois catégories : bonne lisibilité (le texte est correctement positionné dans un espace vide permettant ainsi une lecture facile), lisibilité moyenne (le texte est partiellement superposé à des éléments du manuel, rendant sa lecture possible, mais non optimale), mauvaise lisibilité (le texte est complètement superposé aux questions et illisible ; Tableau 7). Il est constaté que trois élèves du groupe des élèves malvoyants ne sont pas parvenus à rendre leurs réponses lisibles sur le manuel (Figure 3 pour un exemple), alors que les élèves voyants y sont tous (quoique parfois partiellement) parvenus. Toutefois, au plan statistique, une analyse de proportion montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes ($\chi^2 = 4.45$, $p = .10$) concernant la répartition des observations sur les catégories entre les deux groupes.

Tableau 6. Répartition des observations sur les catégories de lisibilité des annotations en fonction des groupes.

Lisibilité des annotations	Groupe Malvoyant	Groupe Voyant	Total
Bonne	8	16	22
Moyenne	9	9	18
Mauvaise	3	0	3
Total	20	23	43

c) Temps

Pour l'analyse des mesures de temps de réalisation de la tâche de lecture-compréhension, un *t* de Welch a été réalisé car les variances ne sont pas homogènes. Les temps de réalisation, en secondes, pour la tâche d'annotation sont significativement plus élevés ($t(33.2) = 2.56, p = .01, d = .80$) pour les élèves malvoyants ($M = 662.9, ET = 279.7$) que pour les élèves voyants ($M = 471.9, ET = 193.9$).

3.5. Résultats à l'exercice interactif

a) Performances à l'exercice

L'élève doit relier six paires de mots sur deux colonnes. Il obtient 1 point par paire correctement reliée, soit un total de 6 points. Notons un abandon au sein du groupe d'élèves malvoyants, car l'élève n'a pas pu agrandir suffisamment l'exercice pour pouvoir le réaliser. L'analyse statistique ne révèle aucune différence significative entre les deux groupes ($U = 185, p = .26, d = .41$). Le groupe malvoyant obtient une moyenne de 3.85 ($ET = 1.86$), alors que le groupe des voyants obtient 4.61 ($ET = 1.37$). Notons que les performances des deux groupes sont basses.

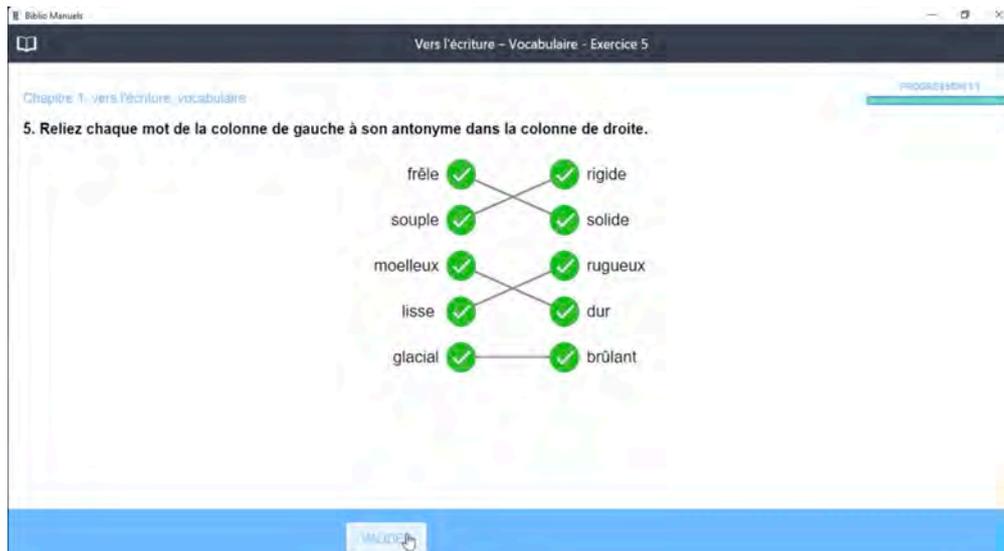


Figure 23. Capture d'écran de l'exercice interactif et présentation des réponses correctes.

b) Temps

Le temps mis pour relier la première paire est significativement plus élevé ($U = 106.5$, $p = .005$, $d = .57$) chez les élèves malvoyants ($M = 42.6$, $ET = 25.1$) que chez les élèves voyants ($M = 27.3$, $ET = 26.8$).

Le temps de réalisation global pour l'exercice interactif est significativement plus élevé chez les élèves malvoyants ($M = 126.4$, $ET = 279.7$) que chez les élèves voyants ($M = 85.9$, $ET = 84$; $U = 85.5$, $p < .001$, $d = .56$).

3.6. Résultats à la tâche de recherche d'information

a) Performance

La tâche de recherche d'information était constituée de six questions qui nécessitaient que le participant se déplace à l'intérieur du manuel scolaire numérique pour y répondre. Le participant obtient un point à chaque question correctement répondue. Le score maximal est de 6. Le groupe des élèves malvoyants obtient une moyenne de 4.65 ($ET = 1.42$), alors que le groupe des élèves voyants obtient une moyenne de 5.34 ($ET = .71$). L'analyse statistique ne révèle aucune différence significative entre les deux groupes ($U = 168$, $p = .11$, $d = .63$).

b) Temps

Les temps de réalisation (en secondes) de la tâche navigation sont significativement plus élevés pour les élèves malvoyants ($M = 341.6$, $ET = 107.4$) que pour les élèves voyants ($M = 199.8$, $ET = 104$; $t(41) = 4.39$, $p < .001$, $d = 1.34$).

3.7. Résultats relatifs à la charge mentale

Les participants devaient évaluer l'effort mental (quel effort mental as-tu du fournir pour réaliser cette tâche ?) sur une échelle de 1 (pas du tout d'effort) à 5 (énormément d'effort) pour chacune des tâches. L'analyse de cet indicateur subjectif de charge mentale a été réalisée en inter-sujets (en fonction du groupe) et en intra-sujets (en fonction de la tâche) dans le but d'identifier les différences de charge mentale entre les deux groupes comparés pour chaque tâche. Les résultats sont présentés dans le Tableau 8.

Au plan descriptif, les élèves malvoyants rapportent un score de charge mentale plus élevé que les élèves voyants pour les tâches d'annotation et de navigation. En revanche, les scores des deux groupes semblent proches pour l'exercice interactif.

Au plan statistique, une ANOVA mixte a mis en évidence une différence significative entre les groupes d'élèves : les élèves malvoyants rapportent en général des scores de charge mentale plus élevés ($M = 2.75$, $ET = .69$) que les élèves voyants ($M = 2.21$, $ET = .74$; $F(1,41) = 5.97$, $p = .02$, $\eta^2_p = .13$). Un effet principal du type de tâche est également observé, $F(1,41) = 10.6$, $p < .001$, $\eta^2_p = .21$. Un test post-hoc permet de préciser que la tâche lecture-compréhension entraîne des scores de charge mentale plus élevés ($M = 2.77$, $ET = 1.54$) que la tâche d'exercice interactif ($M = 1.98$, $ET = 1.54$; $t(82) = 4.21$, $p < .001$). Aussi, la tâche d'exercice interactif obtient des scores inférieurs ($M = 1.98$, $ET = 1.54$) à la tâche de recherche d'informations ($M = 2.68$, $ET = 1.54$; $t(82) = -3.73$, $p = .001$). L'interaction entre les facteurs n'est quant à elle, pas significative, $F(1,41) = 2.10$, $p = .13$, $\eta^2_p = .05$.

Tableau 7. Scores moyens de la charge mentale en fonction des groupes et de la tâche.

Stratégie utilisée	Charge mentale/Tâche	<i>M</i>	ET	Intervalle de confiance (95%)
Groupe malvoyant	CM tâche lecture-compréhension	3.13	.221	[2.69-3.57]
	CM tâche exercice interactif	2.03	.221	[1.59-2.47]
	CM tâche recherche d'informations	3.08	.221	[2.64-3.52]
Groupe voyant	CM tâche lecture-compréhension	2.42	.214	[1.99-2.84]
	CM tâche exercice interactif	1.94	.214	[1.51-2.36]
	CM tâche recherche d'informations	2.29	.214	[1.86-2.71]

3.8. Résultats relatifs au sentiment d'auto-efficacité

La mesure du sentiment d'efficacité personnelle était réalisée avant et après la phase de test. Une ANOVA mixte montre une absence de différence entre les deux groupes ($F(1, 41) = 3.98, p = .05, \eta^2_p = .089$) et entre les deux mesures (pré- et post-tests ; $F(1,41) = 2.35, p = .13, \eta^2_p = .054$).

3.9. Résultats relatifs à la désorientation

Le calcul du McDonald's ($\omega = .77$) relatif aux items permettant de mesurer le sentiment de désorientation est supérieur à .70, ce qui indique une bonne fiabilité. Le niveau de désorientation perçu par les élèves malvoyants ($M = 15.3, ET = 6.22$) est supérieur à celui des voyants ($M = 12.1, ET = 3.71$; $t(41) = 2.06, p = .05, d = .63$).

3.10. Résultats relatifs à la satisfaction

La mesure de satisfaction était réalisée après la réalisation de toutes les tâches. L'élève devait se positionner sur une échelle de Likert allant de 1 à 5 selon qu'il était d'accord ou non avec la phrase présentée. Une première analyse de fiabilité entre les items ($\omega = .68$) permettant de mesurer la satisfaction a conduit à supprimer l'item 5 ; après suppression de l'item 5, l'analyse de fiabilité est acceptable ($\omega = .70$). Les scores moyens de satisfaction ne diffèrent pas significativement entre le groupe des malvoyants ($M = 3.02, ET = 0.50$) et le groupe des élèves voyants ($M = 2.95, ET = .41$; $t(41) = .58, p = .57, d = .13$).

3.11. Résultats relatifs aux demandes d'aide

Une mesure de nombre de demandes d'aide a été réalisée par tâche. Ici, seule les demandes d'aide concernant l'utilisation du manuel scolaire numérique (p. ex. « comment j'écris ? », « comment je fais pour agrandir le texte ? ») ont été considérées afin de capturer les difficultés liées à l'utilisation du manuel scolaire numérique. Une ANOVA mixte ne montre pas d'effet significatif du groupe de participants, ($F(1,41) = 1.99, p = .165, \eta^2_p = .05$) mais un effet significatif de la tâche ($F(3,123) = 10.95, p < .001, \eta^2_p = .21$) sur le nombre de demandes d'aide. Les analyses post-hoc montrent que la tâche de *lecture-compréhension* ($M = 1.86, ET = 1.29$) suscite un nombre de demandes d'aides significativement supérieur à la tâche d'*appréhension de l'organisation générale du manuel scolaire* ($M = 0.41, ET = 1.29$; $t(123) = -5.26, p < .001$), à l'*exercice interactif* ($M = 0.7, ET = 1.29$; $t(123) = 4.22, p < .001$) et à la tâche de *recherche d'information* ($M = 0.69, ET = 1.29$; $t(123) = 4.26, p < .001$). L'interaction entre le groupe d'élèves et les tâches n'est toutefois pas significative, $F(3,123) = 3.34, p = .11, \eta^2_p = .05$.

4. Discussion

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 6^{ème}) 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.

Notre hypothèse était la suivante : lors de l'utilisation d'un manuel scolaire numérique pour une tâche d'apprentissage, les élèves malvoyants auront des performances inférieures, des temps de réalisation supérieurs pour atteindre l'objectif et, une charge cognitive supérieure aux élèves voyants.

Les résultats vont globalement dans le sens de nos hypothèses puisque les analyses révèlent que pour trois des quatre tâches, a minima une des trois mesures est dégradée chez le groupe des élèves malvoyants par comparaison au groupe des élèves voyants (exception faite de la tâche d'exploration du sommaire).

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, coûteux 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 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 24), 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.

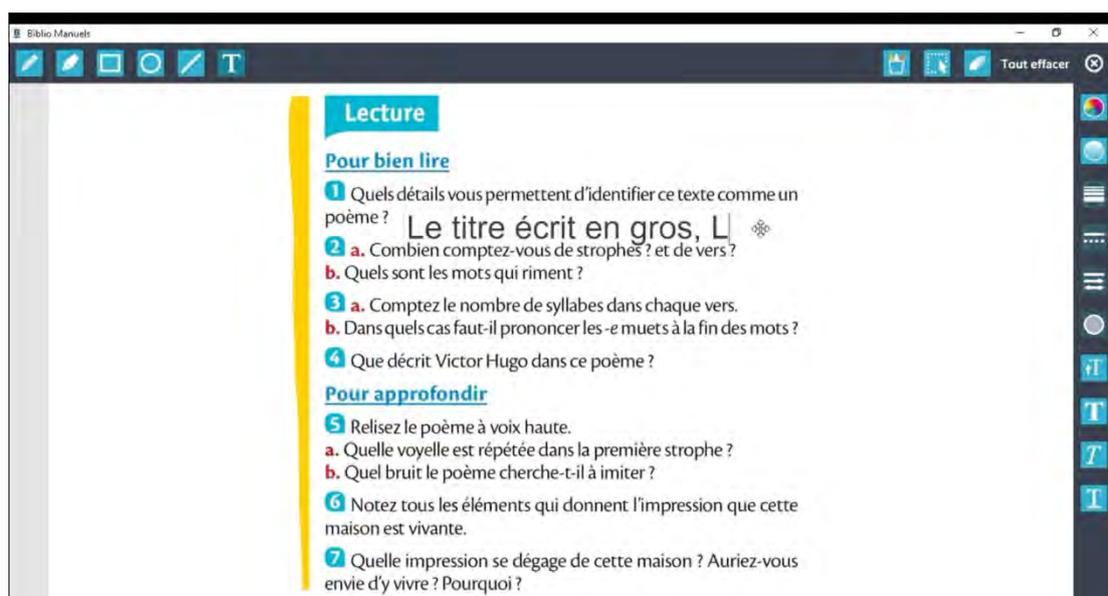


Figure 24. Exemple d'un élève malvoyant qui répond aux questions avec la trousse.



Figure 25. Exemple d'un élève voyant 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 (Figure 25).

Au niveau 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 26). Cela pourrait être une explication possible d'un allongement des temps de réalisation mais d'une absence de différence en termes de performance. Aussi, le niveau de difficulté faible de l'exercice interactif pourrait expliquer l'absence de différence de performance. L'impact sur la performance pourrait n'apparaître qu'à partir d'un certain niveau de difficulté.

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

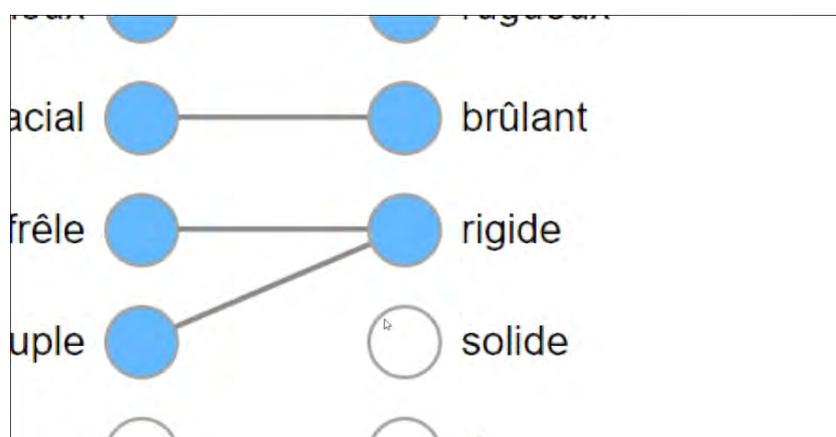


Figure 26. Exemple d'un élève malvoyant qui réalise l'exercice interactif.

zoom. L'utilisation du zoom entraîne une navigation plus importante, un maintien de l'information en MDT et l'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 en situation de handicap visuel 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.

Chapitre 3 Difficultés et besoins des élèves avec trouble de la fonction visuelle en matière d'accessibilité numérique

L'objectif principal de cette recherche était de construire des connaissances spécifiques en matière d'accessibilité des ressources numériques pour l'éducation afin de répondre aux besoins des élèves présentant un trouble de la fonction visuelle. L'identification de ces besoins permettra d'émettre des conseils de conception à destination des éditeurs mais aussi des professionnels de l'adaptation. Plusieurs études ont été réalisées dans le but de mettre à jour les difficultés que ces élèves rencontrent, leurs causes et leurs conséquences. Dans cette partie, nous proposons une synthèse et une catégorisation des difficultés que rencontrent les élèves avec trouble de la fonction visuelle sur la base de la distinction entre accéder, traiter et interagir en référence aux résultats issus de l'analyse de l'existant et à la définition de Ketterlin-Geller & Tindal (2007). Pour chaque problème identifié, les causes et les conséquences de celui-ci seront explicitées sur la base des données obtenues dans les différentes études menées.

1. Les difficultés d'accès

Alors qu'accéder au manuel scolaire numérique (et à son contenu) est un prérequis à son utilisation, cet aspect est souvent négligé de la conception et de l'évaluation d'un dispositif car l'on considère comme acquis le fait que l'utilisateur accède à l'information. Or, la combinaison de facteurs internes à l'utilisateur (p. ex. une déficience sensorielle), environnementaux (p. ex. consulter son ordinateur portable dans une zone exposée au soleil) et les choix de conception de l'outil peuvent engendrer une impossibilité d'accéder aux outils et contenus.

L'accessibilité est un enjeu crucial lorsque l'on s'intéresse aux élèves avec trouble de la fonction visuelle. Ces élèves accèdent aux contenus principalement via des outils et logiciels d'assistance, ce qui requiert un niveau élevé d'accessibilité. Les études réalisées ont mis en évidence des difficultés pour accéder au manuel numérique et à son application de lecture ainsi que pour accéder aux contenus visuels au sein même du manuel scolaire. Si les difficultés pour traiter des informations ou interagir avec les contenus peuvent impacter négativement les performances (p. ex. temps, score de réussite à une tâche), les difficultés d'accès vont tout simplement empêcher l'utilisateur d'accéder à la ressource.

1.1. Impossibilité d'accéder au manuel numérique et à l'application Bibliomanuel.

L'impossibilité d'accéder au manuel scolaire numérique et à son application de lecture constitue une première difficulté. Cette difficulté est apparue dans plusieurs de nos études (Tableau 9). Ici, nous distinguerons le cas des élèves malvoyants et celui des élèves non-voyants.

Pour les élèves non-voyants, la difficulté d'accéder au manuel scolaire numérique se manifeste, dans nos études, par l'absence de participation à l'enquête en ligne, l'impossibilité d'équiper ces élèves de manuels scolaires numériques et d'analyser leurs usages, ou encore d'inclure ces élèves dans le test d'utilisabilité. L'absence de compatibilité technique entre le manuel scolaire numérique et les logiciels d'assistance en est la cause telle que révélée par l'inspection ergonomique. L'origine de cette difficulté est double : un fichier source ne respectant pas les normes d'accessibilité et une application de lecture dont la gestion des droits numériques bloque les fonctionnalités d'accessibilité.

L'analyse du fichier source du manuel scolaire numérique a mis en évidence des manquements aux critères d'accessibilité identifiés dans les A2RNE, alors même que ces critères sont déterminants pour assurer un niveau minimal d'accessibilité. Par exemple, une synthèse vocale ne peut donner d'information sur un contenu imagé que si celui-ci a fait l'objet d'une alternative textuelle. L'absence d'alternative textuelle pour les images contenues dans le manuel scolaire a été constatée lors de l'inspection ergonomique. De plus, il apparaît que la gestion des droits numériques de l'application aurait tout de même bloqué une part des fonctionnalités d'accessibilité dans le cas où le fichier source aurait respecté l'ensemble des critères d'accessibilité technique. L'accès à des contenus numériques pour les élèves non-voyants ne peut se faire que via l'utilisation de logiciel d'assistance. Cette difficulté engendre donc l'impossibilité pour un élève non voyant d'accéder au manuel scolaire numérique à ce stade.

Cette même difficulté d'accéder au manuel scolaire et à son application s'observe chez les élèves malvoyants. Le faible nombre d'élèves malvoyants ayant répondu à l'enquête, et plus généralement le faible recours au manuel scolaire numérique par les élèves malvoyants, pourrait en être une manifestation. Comme pour les élèves non-voyants, le recours à la synthèse vocale est impossible. Cependant, l'utilisation de la loupe Windows et de

l'agrandisseur Zoomtext® restent possible bien que fortement dégradés (p. ex. pixellisation de l'image, Figure 27).

L'accès au manuel scolaire numérique pour les élèves malvoyants dépendra du caractère primordial ou non de l'utilisation des logiciels d'assistance en fonction de leur atteinte visuelle. L'élève va être amené à forcer sur la vue, alors même que celle-ci est déficiente. Les conséquences de ces difficultés pourront être observées sur les mesures de temps, de performance à la tâche et/ou de charge mentale. Comme leurs camarades non-voyants, cette difficulté pourra engendrer une non utilisation de l'outil ou des abandons. Notons cependant qu'un zoom est intégré au manuel scolaire numérique. Celui-ci permet de remplacer, pour partie, les outils d'assistance utilisés habituellement par les élèves malvoyants.

Ces données permettent de conclure que les élèves avec trouble de la fonction visuelle ont besoin que le manuel scolaire numérique soit compatible avec les outils d'assistance qu'ils utilisent.

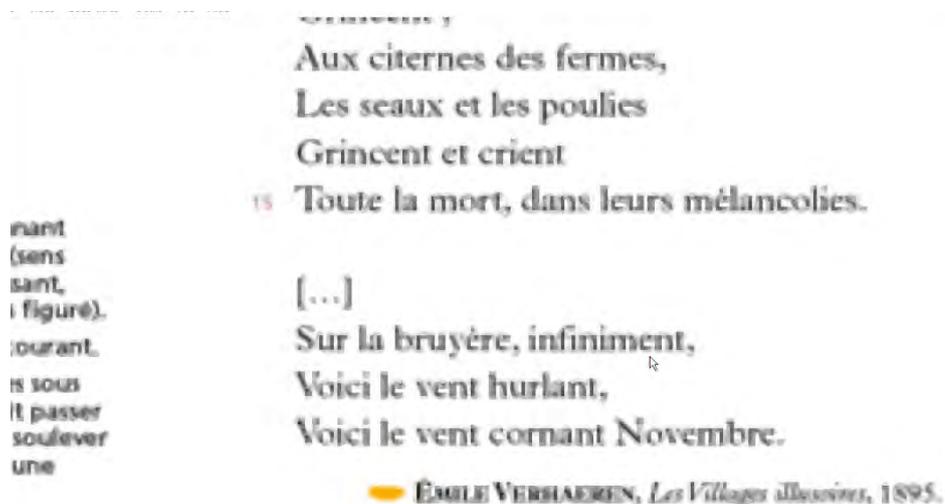


Figure 27. Exemple illustrant les problèmes de pixellisation lors de l'utilisation de la loupe Windows.

Tableau 8. *Indications attestant ou suggérant la difficulté d'accéder au manuel scolaire numérique par études.*

Études réalisées	Indications attestant ou suggérant la difficulté d'accéder au manuel scolaire numérique (et à l'application <i>Bibliomanuel</i> ®)
Inspection ergonomique	Le manuel scolaire numérique est incompatible avec la synthèse vocale NVDA® L'utilisation de la loupe Windows et de l'agrandisseur Zoomtext® est techniquement possible mais dégradée (pixellisation des contenus)
Enquête en ligne	Aucun élève non voyant n'a répondu à l'enquête Faible taux de réponse des utilisateurs malvoyants
Entretien auprès d'un panel d'utilisateur	Aucun élève non voyant n'a pu être équipé puisque le recours aux technologies d'assistance n'est pas possible
Test d'utilisabilité	Aucun élève non voyant n'a pu participer à l'étude puisque le recours aux technologies d'assistance n'est pas possible

1.2. Difficulté liée à ou impossibilité d'accéder aux contenus visuels (incluant les textes, images et pictogrammes)

Si contrairement aux élèves non-voyants, les élèves malvoyants parviennent à accéder au manuel scolaire numérique, ils rencontrent des difficultés pour accéder aux contenus visuels qui le composent (textes, images et pictogrammes). Cette difficulté est constatée sur l'ensemble des études réalisées (Tableau 10).

Les participants de l'enquête en ligne, des entretiens menés dans le cadre de l'analyse des usages et du test d'utilisabilité ont fait part d'un sentiment partagé concernant le zoom intégré au manuel scolaire. Si la qualité de celui-ci est soulignée par les élèves, il est parfois trop faible et surtout il n'est que partiellement utilisable, au sens il ne peut pas s'appliquer sur certaines parties du manuel. Ce point semble être l'origine de nombreuses situations dans lesquelles les élèves ne parviennent pas à accéder aux contenus visuels. S'il est possible d'agrandir les éléments de la double page, il est impossible d'activer le zoom sur l'application de lecture (p. ex. le menu, les pictogrammes, le cadre d'annotation etc.) ce qui empêche l'accès à certaines informations visuelles indispensables notamment à la navigation.

Aussi, les données de l'inspection ergonomique soulignent un faible niveau d'accessibilité des contenus textuels et imagés ainsi qu'une faible lisibilité des informations. Les éléments visuels

disposent de faible contraste et il est impossible de personnaliser l’affichage des informations (exception faite de la taille de certains éléments). Les troubles de la fonction visuelle peuvent avoir des conséquences très variables et engendrer des besoins spécifiques propres à chaque utilisateur (p. ex. utilisation de contraste inversés, d’une police sans serif, etc.). L’absence de personnalisation de l’affichage des informations est une cause des difficultés d’accès aux contenus visuels du manuel scolaire. Les conséquences de cette difficulté à ou l’impossibilité d’accéder aux contenus visuels peuvent être multiples : abandon, augmentation des temps pour atteindre l’objectif, augmentation de la charge mentale.

Cette difficulté témoigne de divers besoins chez les utilisateurs avec trouble de la fonction visuelle. Le premier besoin est relatif au fait de pouvoir utiliser les technologies d’assistance. Le second concerne la possibilité d’utiliser le zoom de façon homogène sur l’ensemble du manuel (y compris sur les parties correspondant à des fonctionnalités) et le troisième au fait de pouvoir personnaliser l’affichage (taille et police).

Tableau 9. *Indications attestant ou suggérant la difficulté d’accéder à ou l’impossibilité d’accéder aux contenus visuels par études.*

Études réalisées	Indications attestant ou suggérant la difficulté à ou impossibilité d’accéder aux contenus visuels (incluant les textes, les images et les pictogrammes)
Inspection ergonomique	Les critères des A2RNE (<i>contenus textuels, tableaux, images</i>) obtiennent le niveau le plus bas d’accessibilité Le critère <i>1.4 lisibilité des informations</i> de Bastien & Scapin (1993) n’est pas validé
Enquête en ligne Entretien auprès d’un panel d’utilisateur Test d’utilisabilité	Les élèves malvoyants indiquent que le zoom est parfois insuffisant et qu’il n’est pas utilisable sur l’ensemble du manuel (p. ex. impossibilité d’agrandir le menu, la zone d’annotation, les pictogrammes)

2. Les difficultés de traitement de l'information

Accéder au manuel scolaire numérique ne garantit pas que l'élève puisse l'utiliser de façon efficace, efficiente et avec satisfaction car des difficultés affectant le traitement de l'information ont été identifiées.

2.1. Difficulté à percevoir la signalisation textuelle (indices typographiques et dispositionnels)

La signalisation textuelle concerne les indices typographiques et dispositionnels. Les manuels scolaires, numériques ou non, présentent un nombre important de signaux dont l'utilisation est censée aider l'utilisateur à identifier les informations importantes (processus de sélection), à repérer la structure des informations (processus d'organisation) et à intégrer les informations. L'évaluation par inspection ergonomique suggère que les élèves avec trouble de la fonction visuelle pourraient rencontrer des difficultés à percevoir la signalisation textuelle car les critères *signifiants des codes et déterminations* et *BP5-2 Utiliser des contrastes de couleurs suffisamment élevés* (A2RNE) ne sont que partiellement validés.

Les causes de cette difficulté sont relatives aux choix graphiques réalisés lors de la conception du manuel scolaire numérique. D'une part, les contrastes entre les éléments sont faibles. Or, les élèves malvoyants peuvent avoir des difficultés importantes pour discriminer les couleurs, voire être dans l'incapacité de les discriminer. D'autre part, le recours aux signaux semble excessif, comme l'a déjà décrit Malti (2018). Comme le souligne Lemarié (2017), si la littérature a montré les effets bénéfiques des signaux, un usage excessif des signaux aurait au contraire des effets délétères sur les apprentissages. Enfin, l'accès séquentiel à l'information entrave la perception globale rapide de l'organisation de la page ou de la double page. En effet, la signalisation textuelle agit sur un continuum allant du niveau local (p. ex. pour créer une emphase) jusqu'à un niveau global pour révéler la structure thématique hiérarchique d'un document. Sa fonction d'organisation au niveau global passe par la possibilité d'appréhender rapidement « d'un seul coup d'œil » la page, les objets qui la composent et leurs relations. Or, la nécessité d'un accès agrandi impose une séquentialité qui pourrait exiger un effort de reconstruction permanent pour les élèves malvoyants.

Tableau 10. *Indications attestant ou suggérant la difficulté à percevoir la signalisation textuelle par études.*

Études réalisées	Indications attestant ou suggérant la difficulté à percevoir la signalisation textuelle (indices typographiques et dispositionnels)
Inspection ergonomique	Le critère <i>signifiante des codes et déterminations</i> est partiellement validé (Bastien & Scapin, 1993) Le critère <i>BP5-2 Utiliser des contrastes de couleurs suffisamment élevés</i> (A2RNE) n'est pas respecté
Enquête en ligne	Absence de données relatives à cette difficulté
Entretien auprès d'un panel d'utilisateur	Absence de données relatives à cette difficulté
Test d'utilisabilité	Absence de données relatives à cette difficulté

Ainsi, il apparaît que les élèves ayant un trouble de la fonction visuelle ont besoin de bénéficier de formats de présentation compatibles avec les spécificités imposées par leurs modes d'accès à l'information et qui soutiennent les processus de sélection, d'organisation et d'intégration.

2.2. Difficulté à repérer la structure générale du manuel scolaire

Les élèves malvoyants, mais aussi les élèves voyants, rencontrent des difficultés à repérer la structure générale du manuel scolaire (Tableau 12).

L'inspection ergonomique a pointé l'absence de sommaire dépliant empêchant une vue globale de la structure du manuel scolaire. Lors du test d'utilisabilité, les élèves devaient observer le sommaire afin de comprendre comment le manuel est structuré. Les performances à cette tâche sont faibles chez tous les élèves (malvoyants et voyants). De plus, la mesure de désorientation rapportée par les élèves malvoyants est supérieure à celle rapportée chez les élèves voyants. Cette difficulté résulte du fait que le sommaire est présenté jusqu'au plus bas niveau hiérarchique et est donc très long (trois doubles pages). C'est aussi le cas pour le menu qui affiche l'intégralité des sections du manuel. Les élèves ne disposent d'aucune présentation d'ensemble de la structure globale du manuel scolaire. Or, cette présentation d'ensemble est nécessaire à la construction d'une représentation mentale (Colliot, 2018). Cette difficulté pourrait, là encore, nuire aux performances des élèves et augmenter leur charge mentale.

Tableau 11. *Indications attestant ou suggérant la difficulté à repérer la structure générale du manuel scolaire par études.*

Études réalisées	Indications attestant ou suggérant la difficulté à repérer la structure générale du manuel scolaire
Inspection ergonomique	Sommaire trop long et pas dépliant
Enquête en ligne	Absence de données relatives à cette difficulté
Entretien auprès d'un panel d'utilisateur	Absence de données relatives à cette difficulté
Test d'utilisabilité	Faible performance à la tâche d'appréhension de la structure globale du manuel observée chez tous les élèves (malvoyants et voyants) Désorientation rapportée par les élèves malvoyants supérieure aux élèves voyants

Les élèves avec trouble de la fonction visuelle, et plus généralement l'ensemble des élèves ont besoin d'avoir une vision d'ensemble du manuel scolaire numérique sur un espace réduit. Aussi, ils doivent pouvoir contrôler la granularité des niveaux de titres affichés (p. ex. menu dépliant).

2.3. Difficulté à se repérer au sein de la page

Les causes de cette difficulté sont multiples (Tableau 13). Une fois le zoom actif, plus aucun repère ne permet à l'élève de savoir où il se trouve dans la page. Pour se repérer, l'élève doit dé-zoomer puis zoomer à nouveau jusqu'à ce qu'il puisse répondre aux questions. Ces va-et-vient peuvent entraîner une perte d'information spatiale. Cet effet est augmenté par le fait que les informations soient présentées sur une double page. L'espace entre deux sources d'informations à intégrer s'en trouve augmenté, ainsi que le nombre d'éléments non pertinents entre ces deux sources.

Cette difficulté peut conduire à des erreurs dans la réalisation des exercices, une charge mentale plus importante, des temps de navigation supérieurs et des potentiels abandons.

Les élèves malvoyants ont besoin d'indices permettant de savoir où ils se trouvent sur la page. Ils ont aussi besoin de pouvoir limiter les déplacements entre des contenus à traiter.

Tableau 12. *Indications attestant ou suggérant la difficulté à se repérer au sein de la page par études.*

Études réalisées	Indications attestant ou suggérant la difficulté à se repérer au sein de la page
Inspection ergonomique	Absence de données relatives à cette difficulté Répond à la question sur une page et regarde le mauvais poème (sur l'autre page)
Enquête en ligne	Absence de données relatives à cette difficulté
Entretien auprès d'un panel d'utilisateur	Absence de données relatives à cette difficulté
Test d'utilisabilité	Désorientation rapportée par les élèves malvoyants supérieure aux élèves voyants Erreur observée chez un participant qui répond aux questions de la page 16 avec le contenu de la page 17 car il s'est perdu dans la double page

2.4. Difficulté à traiter des informations éloignées spatialement

L'argumentaire concernant la difficulté à traiter des informations éloignées spatialement et la difficulté à se repérer au sein de la page sont pour partie identiques. En effet, ces causes engendrent deux difficultés distinctes. La difficulté à traiter des informations éloignées spatialement est identifiée dans plusieurs études. Lors de l'enquête, les utilisateurs avec un trouble de la fonction visuelle identifient comme principal point bloquant une présentation de l'information en double page qui complexifie le traitement de deux informations spatialement éloignées mais dont l'intégration est requise par la tâche (huit occurrences ; p. ex. « quand on doit comparer les images sur plusieurs pages », « ne pas avoir la présentation page à page », ou « difficultés de voir plusieurs pages en même temps »). Ces difficultés sont également évoquées lors des entretiens auprès d'un panel d'utilisateurs (p. ex. « le fait que ce soit en double page. C'est trop compliqué pour la navigation. Quand on zoome y a les deux pages donc c'est trop compliqué pour se déplacer »). Les scores de désorientation supérieurs chez les élèves malvoyants indiquent également des difficultés à traiter des informations éloignées spatialement. On observe de nombreux allers-retours entre le texte et les questions chez les élèves malvoyants.

Cette difficulté est particulièrement importante chez les élèves malvoyants du fait de l'accès séquentiel lié à l'utilisation du zoom qui engendre un nombre important d'actions pour se déplacer d'une source d'information à l'autre. Aussi, l'organisation des contenus sur la page n'obéit pas nécessairement à une logique liée à la tâche (mettre ensemble ce que l'élève

va devoir traiter ensemble) mais plutôt à des considérations d'optimisation de l'espace de la double page. La double page sera ainsi composée de plusieurs zones dont certaines n'apportent pas d'informations directement utiles pour pouvoir réaliser l'exercice.

Cette difficulté peut avoir des conséquences sur la charge mentale, le temps de navigation, la performance et peut conduire à des abandons (Tableau 14). L'élève va devoir maintenir un nombre important d'informations en mémoire de travail, ce qui peut s'avérer complexe.

Les élèves avec trouble de la fonction visuelle ont besoin de pouvoir limiter les déplacements entre des contenus à traiter.

Tableau 13. *Indications attestant ou suggérant la difficulté à traiter des informations éloignées spatialement par études.*

Études réalisées	Indications attestant ou suggérant la difficulté à traiter des informations éloignées spatialement
Inspection ergonomique	<i>Le critère de l'homogénéité/cohérence est partiellement validé (Bastien & Scapin, 1993)</i> <i>Le critère consultation et navigation obtient un niveau 1 (A2RNE)</i>
Enquête en ligne	Les utilisateurs avec un trouble de la fonction visuelle identifient comme principal point bloquant une présentation de l'information en double page qui complexifie le traitement de deux informations spatialement éloignées (8 occurrences ; p. ex. « quand on doit comparer les images sur plusieurs pages », « ne pas avoir la présentation page à page », ou « difficultés de voir plusieurs pages en même temps »)
Entretien auprès d'un panel d'utilisateur	Un élève évoque aussi les difficultés de navigation liées à la présentation de l'information sur la double page (p. ex. « le fait que ce soit en double page. C'est trop compliqué pour la navigation. Quand on zoome y a les deux pages donc c'est trop compliqué pour se déplacer. »)
Test d'utilisabilité	Désorientation rapportée par les élèves malvoyants supérieure aux élèves voyants Erreur observée chez un participant : répond aux questions de la page 16 avec le document de la page 17 (se perd dans la double page). Les nombreux allers-retours entre le texte et les questions chez les élèves malvoyants

3. Difficultés à interagir

3.1. Difficulté à écrire dans le manuel

La possibilité d'écrire à l'intérieur du manuel scolaire numérique constitue un avantage considérable en comparaison des versions PDF, habituellement fournis aux élèves malvoyants. S'il est également possible d'écrire sur un fichier PDF, le fait qu'il n'ait pas été conçu pour cette utilisation rend l'ajout d'annotations complexe et alourdit considérablement le fichier, entraînant des ralentissements et des bugs. A l'inverse, le manuel scolaire numérique dispose de fonctionnalités spécifiques permettant à l'utilisateur d'annoter son fichier textuellement et/ou auditivement. L'annotation auditive est difficile à évaluer du fait de son faible usage par les utilisateurs. Aussi, dans le test d'utilisabilité un seul élève a tenté d'utiliser l'annotation auditive. Cet élève malvoyant a dû modifier sa stratégie car il n'arrivait pas à voir le pictogramme pour lancer l'enregistrement (bouton « play »). L'annotation textuelle est donc majoritairement utilisée par tous les élèves. Cependant, si les élèves s'accordent sur le fait que la possibilité d'écrire dans le manuel constitue un atout, les fonctionnalités proposées sont peu accessibles et complexes à utiliser.

L'inspection ergonomique a mis en évidence le non-respect des critères de charge de travail et d'homogénéité/cohérence pour la trousse. Ces observations sont vérifiées dans les résultats du test d'utilisabilité. En effet, à la tâche nécessitant d'annoter, on observe des abandons plus fréquents, des temps de réalisation plus longs, une charge mentale subjective plus élevée et des performances plus faibles. Lors des entretiens, les élèves expriment le fait qu'ils trouvent l'usage de la trousse complexe (p. ex. « La trousse est complexe. Ce n'est pas très simple. Il faut tout chercher. Les pictogrammes ça va à peu près mais je n'ai pas trouvé pour changer la police (ex : Verdana) »). La trousse est difficile à utiliser : elle présente des informations redondantes, requiert un nombre de sous-actions trop important et ne permet pas facilement d'insérer la réponse générée dans la page. Ce point est vrai pour l'ensemble des élèves. L'absence d'espace spécifique dédié au positionnement de la réponse dans la page ajoute une exigence à la tâche (trouver un endroit adapté où positionner la réponse générée) qui peut s'avérer complexe et coûteux en charge mentale et en temps.

Bien que la trousse soit plus complexe à utiliser que l'annotation par clic droit, les élèves malvoyants y ont principalement recours car ils ne peuvent agrandir le bandeau d'annotation. L'annotation par clic droit n'offre pas la possibilité à l'élève d'agrandir sa réponse, ce qui empêche son utilisation ou la complexifie. Par exemple, certains élèves écrivent leurs réponses mais ne peuvent pas la relire ni la corriger.

Plusieurs besoins découlent de cette difficulté. Les élèves malvoyants ont besoin de pouvoir utiliser les technologies d'assistance. Cela leur permettrait d'utiliser l'annotation par clic droit, par exemple. Ils ont également besoin de pouvoir utiliser le zoom de façon homogène sur l'ensemble du manuel scolaire. Enfin, il semble qu'une seule fonctionnalité d'annotation soit nécessaire pour l'élève. Cette difficulté résulte du fait que l'élève doit choisir entre deux fonctionnalités différentes d'annotation non compatible avec les besoins spécifiques des élèves.

Tableau 14. *Indications attestant ou suggérant la difficulté à écrire dans le manuel par études.*

Études réalisées	Indications attestant ou suggérant la difficulté à écrire dans le manuel
Inspection ergonomique	Si l'on considère les outils qui permettent d'écrire, ils ne respectent ni le critère de <i>charge de travail</i> , ni celui d' <i>homogénéité/cohérence</i> de Bastien & Scapin (1993)
Enquête en ligne	Aucun élève n'utilise l'outil d'annotation
Entretien auprès d'un panel d'utilisateur	La trousse est jugée trop complexe (p. ex. « La trousse est complexe. Ce n'est pas très simple. Il faut tout chercher. Les pictogrammes ça va à peu près mais j'ai pas trouvé pour changer la police (ex : Verdana) »)
Test d'utilisabilité	Bien que la trousse soit plus complexe à utiliser que l'annotation par clic droit, les élèves malvoyants y ont principalement recours car ils ne peuvent agrandir le bandeau d'annotation A la tâche nécessitant d'annoter, on observe des abandons plus fréquents, des temps de réalisation plus longs, une charge mentale subjective plus élevée et des performances plus faibles

3.2. Difficulté à rechercher une information

Les élèves avec troubles de la fonction visuelle rencontrent des difficultés pour rechercher une information dans le manuel scolaire numérique (Tableau 16). Ces résultats sont similaires à ceux observés dans la littérature.

Le faible niveau d'accessibilité aux critères de consultation et navigation (A2RNE) et d'homogénéité/cohérence (Bastien & Scapin, 1993) lors de l'inspection ergonomique permettait déjà de faire cette hypothèse. Elle est confirmée par les résultats du test d'utilisabilité lors duquel on observe que les temps de complétion de la tâche de recherche sont supérieurs pour les élèves malvoyants que pour les élèves voyants. Aussi, on observe des tentatives échouées d'utiliser les stratégies compensatoires habituelles lors d'activité de recherche (p. ex. recherche par mot-clef ou tentative de navigation par raccourcis clavier). Là encore, les conséquences concernent une augmentation des activités de navigation et une hausse de la charge mentale. Les élèves identifient bien cette difficulté et expriment le souhait de disposer notamment de fonctionnalités permettant d'optimiser les activités de recherches, comme par exemple la recherche vocale (p. ex. Alexa ou Siri).

Tableau 15 : *Indications attestant ou suggérant la difficulté à rechercher une information par études.*

Études réalisées	Indications attestant ou suggérant la difficulté à recherche une information
Inspection ergonomique	Le critère de <i>l'homogénéité/cohérence</i> est partiellement validé (Bastien & Scapin, 1993) Le critère <i>consultation et navigation</i> obtient un niveau 1 (A2RNE)
Enquête en ligne	La recherche par numéro de page est utilisée par la majorité des élèves malvoyants (9/11). Un élève exprime des difficultés liées à l'absence de raccourcis clavier.
Entretien auprès d'un panel d'utilisateur	Un élève indique son désir d'avoir la possibilité de réaliser une recherche par mot-clef. Un élève a formulé le souhait de pouvoir réaliser une recherche vocale à la manière de Siri (Apple) ou Alexa (Amazon).
Test d'utilisabilité	Tentatives échouées d'utiliser des stratégies compensatoires (p. ex. recherche par mot clef, raccourcis clavier) Temps à la tâche de recherche allongé

La difficulté à rechercher une information découle de l'impossibilité pour les élèves d'utiliser des stratégies compensatoires, du manque de structuration des informations dans le manuel et de l'abondance des informations (dont certaines ne sont pas pertinentes).

Les besoins se situent ici à plusieurs niveaux : pouvoir mettre en place des stratégies compensatoires, pouvoir accéder en priorité au contenu pertinent et pouvoir limiter les déplacements entre deux sources d'informations à intégrer

4. Synthèse des difficultés lors de l'utilisation d'un manuel scolaire numérique et de leurs conséquences

4.1. Difficultés et besoins lors de l'utilisation d'un manuel scolaire numérique

L'analyse des difficultés rencontrées par les élèves avec trouble de la fonction visuelle a permis de distinguer trois catégories : des difficultés pour accéder, pour traiter et pour interagir (Tableau 17). Ces difficultés résultent pour la plupart d'un manque de compatibilité entre le format de présentation de l'information dans le manuel et les spécificités d'accès des élèves avec trouble de la fonction visuelle.

Une synthèse de ces difficultés et de leurs conséquences est proposée Figure 28. Ces difficultés vont engendrer une augmentation de la charge mentale et un allongement des temps de navigation, ce qui pourra aboutir à des abandons, des performances diminuées et des temps pour réaliser la tâche allongés.

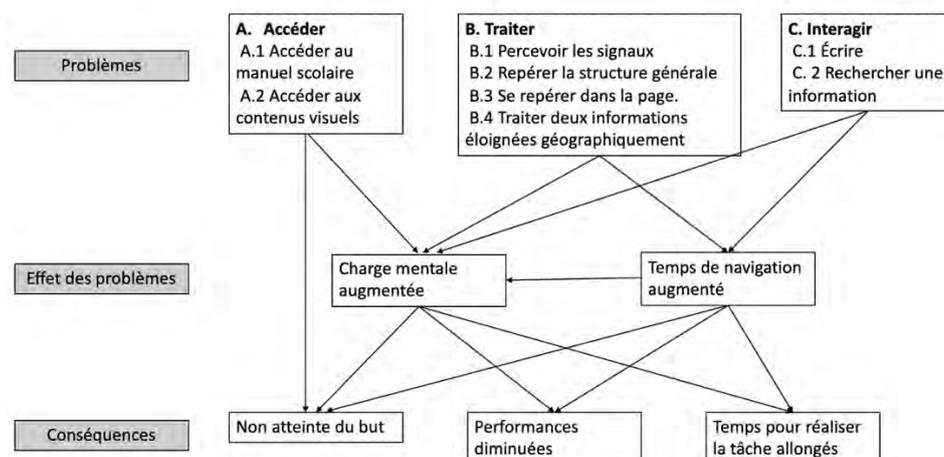


Figure 28. Schéma récapitulatif des problèmes que rencontrent les élèves avec trouble de la fonction visuelle lors de l'utilisation d'un manuel scolaire numérique et leurs conséquences.

Tableau 16. *Tableau récapitulatif des difficultés et besoins des utilisateurs avec trouble de la fonction visuelle pour l'utilisation d'un manuel scolaire numérique.*

Difficultés	Besoins
A.1 Accéder au manuel scolaire	Pouvoir utiliser les technologies d'assistance
A.2 Accéder aux contenus visuels	Pouvoir utiliser les technologies d'assistance Pouvoir utiliser le zoom de façon homogène sur l'ensemble du manuel (y compris sur les parties correspondant à des fonctionnalités)
B.1 Percevoir la signalisation textuelle	Pouvoir personnaliser l'affichage (taille et police) Limiter les signaux et accentuer les contrastes Avoir recours à des signaux autres que visuels
B.2 Repérer la structure générale	Pouvoir avoir une vision d'ensemble de la structure du manuel sur un espace réduit Pouvoir contrôler la granularité des niveaux de titres affichés (p. ex. menu dépliant)
B.3 Se repérer dans la page	Pouvoir disposer d'indices permettant de savoir où l'élève se trouve sur la page Pouvoir limiter les déplacements entre des contenus à traiter Avoir la possibilité d'accéder aux informations de façon linéaire (de haut en bas seulement)
B.4 Traiter deux informations éloignées géographiquement	Pouvoir intégrer facilement plusieurs sources d'informations Pouvoir mettre en place des stratégies compensatoires Limiter les déplacements entre plusieurs sources d'informations
C.1 Écrire	Pouvoir utiliser les technologies d'assistance Pouvoir utiliser le zoom de façon homogène sur l'ensemble du manuel Disposer d'une unique fonctionnalité d'annotation
C. 2 Rechercher une information	Pouvoir mettre en place des stratégies compensatoires Accéder en priorité au contenu pertinent Limiter les déplacements entre deux sources d'informations à intégrer

4.2. Besoins plus généraux

Dans cette partie, une synthèse des conséquences affectivo-cognitives qui découlent des difficultés rencontrées par les élèves avec trouble de la fonction visuelle lors de l'utilisation d'un manuel scolaire numérique est proposée. Il s'agit des jugements, des envies et des craintes des élèves avec trouble de la fonction visuelle à l'égard du manuel scolaire numérique

et de son utilisation. Conscient que ces éléments pourraient être déterminants dans l'utilisation effective ou le rejet du manuel scolaire numérique, des besoins spécifiques seront identifiés. Trois catégories de besoin ont pu être mises en évidence : sécurité, simplicité et normalité.

4.2.1. Le besoin de sécurité

Les premiers retours des élèves avec trouble de la fonction visuelle concernent la sécurité. En effet, à plusieurs reprises, les élèves ont exprimé la présence d'une anxiété importante causée par l'utilisation de l'outil informatique en contexte scolaire. Bien que non quantifiées, des situations de rejet de l'ordinateur portable ou des technologies d'assistances ont été observées. Aussi, lors des retours des usages, plusieurs élèves ont indiqué ne pas utiliser d'outils d'assistance par crainte des bugs répétés. De façon informelle, certains élèves ont évoqué des problèmes pour accéder à internet ou charger leur ordinateur portable en classe. Un élève rencontré a indiqué réaliser des captures d'écran régulièrement par crainte là encore des bugs informatiques. Concernant le manuel scolaire numérique, un élève a stoppé sa participation au retour des usages car lors du téléchargement du manuel scolaire numérique sur son ordinateur un message d'erreur s'était affiché. Lors de l'entretien, il a expliqué être très angoissé à l'idée que son ordinateur ne fonctionne plus et qu'il se retrouve sans machine, alors même que c'était l'année du brevet des collèges. Le manuel scolaire numérique doit pouvoir être utilisé sans crainte de bugs ou de perte des données. Si les élèves craignent d'endommager l'ordinateur ou que les données enregistrées disparaissent, ils pourraient décider de ne pas l'utiliser.

4.2.2. Le besoin de simplicité

Les élèves interrogés lors des différents recueils énoncent plusieurs points qui soulèvent tous un besoin de simplicité. Cette simplification se situe à plusieurs niveaux : l'accès au manuel et les diverses fonctionnalités disponibles.

Aujourd'hui, chaque éditeur dispose de sa propre application de lecture. L'élève aura recours à autant d'applications de lecture qu'il a de manuels d'éditeurs différents³¹. Lors de l'enquête, rare étaient les élèves qui avaient un seul et unique éditeur sur l'ensemble de leurs manuels scolaires. Ce point semble particulièrement bloquant pour les élèves. Ils connaissent rarement l'éditeur de leurs manuels et ont l'habitude de classer leurs contenus scolaires par

³¹ Nota : plusieurs éditeurs font partis d'un même groupe. Par exemple Bibliomanuel permet d'accéder aux livres du groupe SEJER (p. ex. Nathan, Bordas, Le Robert).

matière et non par éditeur. Avoir recours à plusieurs applications de lecture avec des fonctionnements parfois différents semble être source de rejet pour les élèves. De la même façon, ils expriment le souhait d'avoir tous leurs manuels en version numérique ou aucun (p. ex. « il n'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. »). Ici encore, on perçoit une volonté d'avoir des pratiques d'utilisation similaires pour l'ensemble des enseignements.

Concernant les diverses fonctionnalités du manuel scolaire numérique, là encore, les élèves évoquent un besoin de simplicité. Par exemple, un élève exprime cela lors des retours des usages : « il (le manuel scolaire numérique) est bien mais c'est trop complexe. Trop de choses donc on ne s'y retrouve pas. Le PDF au moins y a tout en haut donc toutes les fonctionnalités sont visibles. Là il faut aller dans les menus, etc. Les chemins d'accès sont plus longs. » Si les fonctionnalités sont appréciées leur quantité semblent nuire à leur utilisation.

4.2.3. Le besoin de « normalité »

Si les résultats de nos études ont souligné des faiblesses du manuel scolaire numérique, les élèves ont identifié de nombreux avantages à son utilisation dont le principal renvoie au caractère universel de celui-ci. Utiliser le manuel scolaire numérique, c'est utiliser le même manuel que leurs camarades, que leurs enseignants et non des extraits spécifiquement adaptés (transcrits en braille ou agrandis). Lors des retours des usages, une élève a d'ailleurs indiqué que le fait que son professeur d'anglais utilise le manuel scolaire numérique était un atout. Cette volonté des élèves avec trouble de la fonction visuelle s'exprime notamment par le rejet de certains outils d'assistance.

Lors des entretiens, une participante s'exprimait ainsi concernant l'utilisation d'outils grands publics : « J'aime quand c'est facile. Quand je n'ai pas besoin d'être si spéciale. ». Un élève de quatrième évoquait aussi cette question en expliquant son choix d'utiliser l'iPad plutôt que l'ordinateur pour consulter ses manuels scolaires numériques. Lorsqu'on lui demande s'il trouve plus facile d'utiliser un iPad plutôt qu'un ordinateur pour consulter ses manuels, il répond : « Ben oui. Ça fait moins handicapé en tout cas. Ça fait moins handicap. Après, je trouve ça mieux, c'est plus léger. »

Ce besoin de se fondre dans le groupe est aussi visible lors des échanges concernant le recours à la modalité auditive. Le manuel scolaire numérique ne permet pas un accès auditif à l'information mais dispose de plusieurs fichiers audio (p. ex. des poèmes en audio) et d'une

fonctionnalité d'annotation vocale. Les résultats de l'enquête montrent que les élèves ont une opinion favorable bien qu'ils n'utilisent que très peu ces ressources. Une des raisons à cela semble être liée au fait que l'utilisation du manuel est principalement réalisée en classe et que les élèves ne souhaitent pas porter des écouteurs pendant la classe. Brulé et al. (2015) rapportent des éléments similaires : le choix d'utiliser ou non un outil dépend pour partie de certaines dimensions subjectives du handicap, telles que « l'envie d'être semblable aux autres ».

Partie IV – CONCEPTION ET
ÉVALUATION D’UN PRINCIPE DE
SOLUTION

Chapitre 1 Principes de solution élaborés

La présente partie répond au second objectif de cette thèse, à savoir, concevoir des principes de solutions en vue d'améliorer l'accessibilité des manuels scolaires numériques pour les élèves avec un trouble de la fonction visuelle et les évaluer.

Le chapitre précédent a 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 avec trouble 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 accroît 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.

1. 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 continuité. 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. Les études montrent 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 textes utilisateurs (Partie III – Chapitre 2) 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. Cette navigation majoritairement visuelle pour les élèves voyants s'observe en partie du fait des stratégies utilisées. Les élèves voyants utilisent majoritairement l'annotation par clic droit ou la trousse sur la double page. Ces deux types d'annotations permettent à l'élève de disposer de l'ensemble des informations sur une seule vue, réduisant ainsi le nombre d'aller-retours à réaliser. À l'inverse, les élèves malvoyants utilisent principalement la trousse sur les zones agrandies, ce qui ne leur permet pas d'avoir une vue d'ensemble. En outre, même lorsqu'ils écrivent sur la double page, ils réalisent des va-et-vient entre le texte et les questions avec le zoom actif rendant là encore impossible la vue d'ensemble. 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 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 et dans le temps (Ayres & Sweller, 2010, 2014) et utiliser deux modalités (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 éloignées.

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 du 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. En outre, et comme cela est possible dans le manuel scolaire numérique pour les élèves voyants, ces trois zones devraient être accessibles sur une vue d'ensemble (Figure 29).

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.

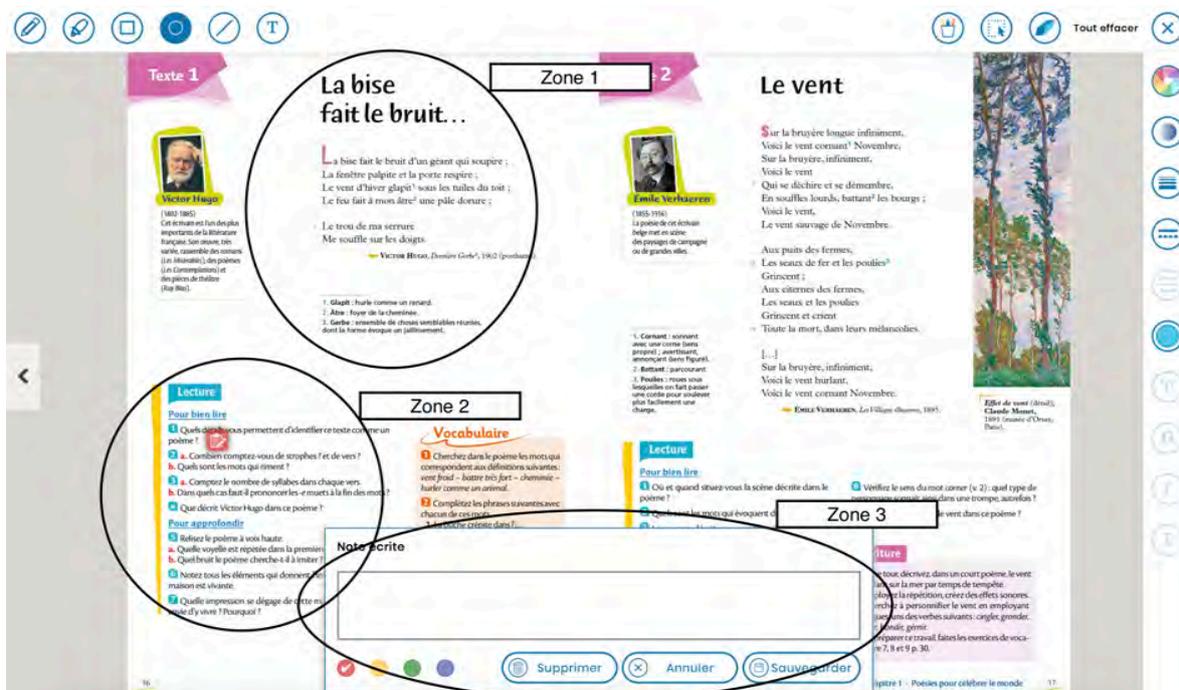


Figure 29. Exemple de vue d'ensemble disponible pour les élèves voyants dans le manuel scolaire numérique.

2. 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 document 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.

Chapitre 2 Évaluation des principes de solution

1. Méthodologie

1.1. Échantillon

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 ; ; $M_{\text{âge}} = 12.9$, $ET_{\text{âge}} = 1.28$; étendue = 10-15.8). Les élèves étaient répartis du CM1 (4.2%) à la seconde (8.3%) avec la répartition suivante : CM2 (20.8%), 6^{ème} (8.3%), 5^{ème} (20.8%), 4^{ème} (12.5%) et 3^{ème} (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 (Annexe 18 -) 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 disposent 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 (Annexe 9 -).

1.2. Matériel d'apprentissage utilisé

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. Les trois poèmes et les questions associées sont extraits du manuel scolaire *Terre des Lettres, 2016, Nathan*. Il s'agit des poèmes suivants (Annexe 14 -) :

- *Le vent*, Émile Verhaeren (p. 17) – questions 1-2.
- *Le temps a laissé son manteau*, Charles d'Orléans (p. 22) – questions 1-2.
- *Le jardin et la maison*, Anna de Noailles (p. 23) – questions 2a-2b.

Les trois poèmes et questions associées ont été sélectionnés en raison de leur équivalence supposée en termes de difficulté (cf. Tableau 17).

La longueur des trois poèmes est sensiblement la même. Les poèmes de la tâche 2 et 3 comportent 13 et 14 vers. Celui de la tâche 1 est composé de 18 vers.

Pour chaque tâche, l'élève doit répondre à deux questions. La première question concerne la compréhension globale du poème, par exemple « où et quand situez-vous la scène décrite dans le poème ? » (question 1 de la tâche 1). Pour y répondre l'élève doit avoir compris de façon globale la thématique abordée dans le poème.

La deuxième question de chaque tâche amène l'élève à extraire des données directement dans le poème. Il doit donc identifier les éléments pertinents pour répondre à la question et les citer au sein de sa réponse.

Ces choix ont fait l'objet d'une validation par un professeur agrégé en littérature exerçant en collège. Celui-ci a par ailleurs fourni un corrigé des réponses attendues aux questions (Annexe 15 -).

Tableau 17 : *Tableau des caractéristiques des trois tâches à réaliser lors du test de la solution.*

	Tâche 1	Tâche 2	Tâche 3
	<i>Le Vent</i>	<i>Le temps a laissé son manteau</i>	<i>Le jardin et la maison</i>
Longueur du poème	18 vers	13 vers	14 vers
Question 1	Où et quand situez-vous la scène décrite dans le poème ?	Quelle saison est évoquée dans ce poème ? Justifiez votre réponse.	Le titre du poème vous paraît-il bien choisi ? expliquez pourquoi.
Question 2	Quels sont les mots qui évoquent des bruits ?	Qu'est ce que la nature est ici personnifiée ?	Quel moment de la journée est évoqué ? Citez deux expressions qui vous permettent de le comprendre.

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 (Annexe 19 -).

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 ?

1.3. Descriptif des 3 versions du matériel d'apprentissage

Le matériel correspond à un extrait de manuel scolaire. Il s'agit de l'exercice de lecture-compréhension utilisé dans le test d'utilisabilité comportant un texte à lire et des questions. 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.
- 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).

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 consulter, 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 »



Figure 30. Exemple de vue d'ensemble disponible pour les élèves voyants dans le manuel scolaire numérique.

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 démembre,
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 nuit dans leurs mélancolies

Figure 31. Illustration de la version intégrée.

1. Quelle est la forme de ce poème ? Combien de syllabes les vers comportent-ils ?

La **version intégrative** 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 (Annexe 16 -). 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 (Annexe 17 -).
- 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.

La version intégrée-multimodale 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.

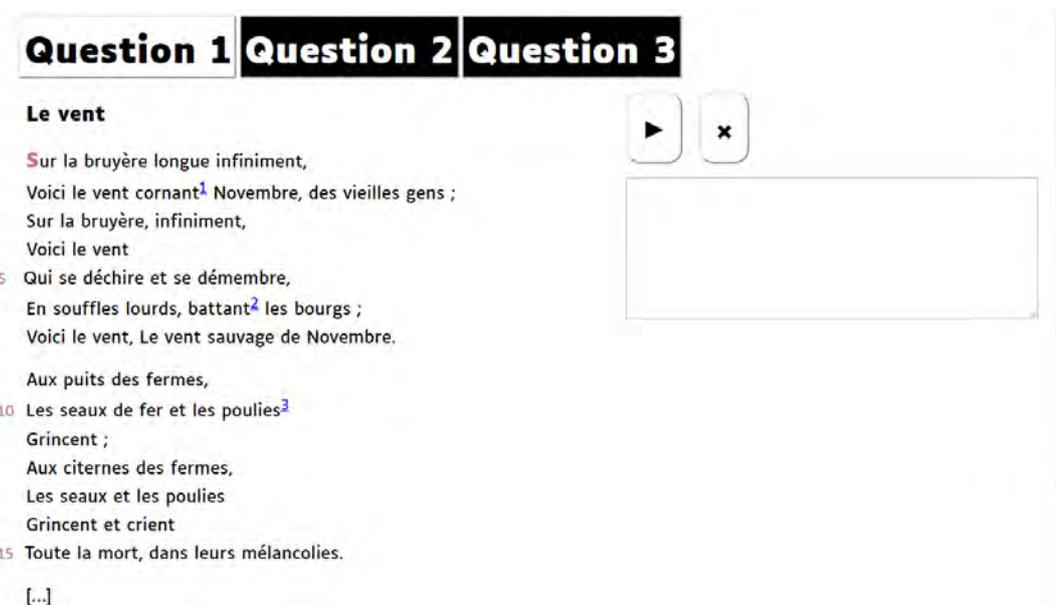


Figure 32. Illustration de la version multimodale.

Les trois versions qui seront comparées se distinguent à plusieurs niveaux (Tableau 18). 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.

Tableau 18. Tableau récapitulatif des différences entre les versions contrôle, intégrée et intégrée-multimodale.

	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

Également, si le zoom n'est pas utilisable sur l'ensemble des contenus pour la version contrôle, il l'est sur les versions intégrées et intégrée multimodale.

Enfin, les versions contrôle et intégrée présentent l'information exclusivement visuellement alors que pour la version intégrée multimodale, les informations relatives aux textes sont visuelles mais les questions sont délivrées auditivement.

1.4. Matériel utilisé pour le test de la solution

Un ordinateur portable Dell 17 pouces fonctionnant sous Windows était mis à disposition des participants. Toutes les actions effectuées étaient enregistrées par le logiciel de suivi Snagit 2020³² (TechSmith, Okemos, MI) installé sur l'ordinateur portable. Une souris était disponible pour les élèves qui le souhaitaient. Pour accéder au manuel, l'élève doit se connecter à l'application Bibliomanuel déjà téléchargé sur l'ordinateur. Des extraits du manuel scolaire numérique *Terres des lettres* (français de niveau 6^e, édition Nathan) étaient disponibles. Les échelles de Likert utilisées pour les évaluations subjectives ont été agrandies en noir sur fond blanc et mises à disposition sur support papier pour tous les participants.

1.5. Procédure

Dans cette expérience, chaque élève devait réaliser trois tâches de lecture-compréhension, chacune présentée selon une des trois versions comparées (contrôle, intégrée, multimodale).

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 33).

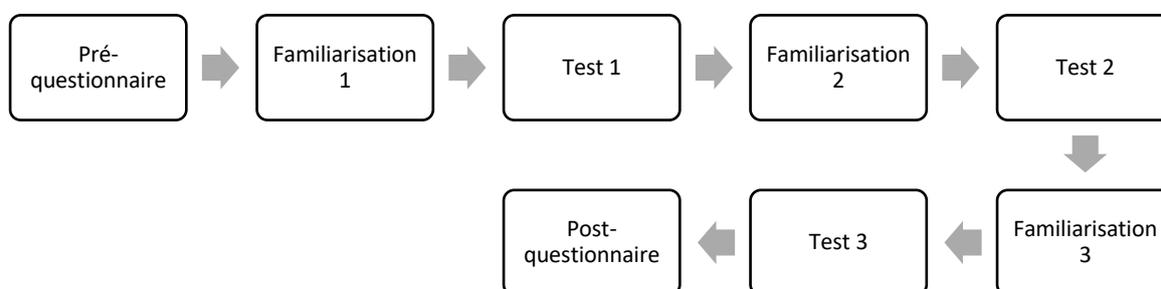


Figure 33. Schéma présentant les différentes étapes du test de la solution.

³² <https://snagit.fr.softonic.com> (consulté le 13-04-2020)

1.5.1. Pré-questionnaire

Avant de commencer la phase de test, les élèves ont été interrogés sur leurs expériences numériques dans le domaine scolaire. Des données sur la fréquence d'usage d'un ordinateur pour des tâches scolaires, l'usage de manuel scolaire numérique ainsi que leur intérêt pour le sujet (littérature française) ont été recueillis.

1.5.2. Phases de familiarisation

Avant de débiter chaque phase de test correspondant à la réalisation d'une tâche de lecture-compréhension selon un des trois formats de présentation, une brève présentation vidéo des fonctionnalités disponibles est présentée à l'élève (p. ex. comment accéder aux questions, comment rédiger sa réponse). Ensuite, les participants disposaient d'au maximum 5 minutes pour se familiariser avec le format sur un exemple extrait du même manuel (La fable *Du lion allant à la chasse*, p.255). Durant ce temps, ils étaient invités à poser autant de questions qu'ils le souhaitaient et à tester les diverses fonctionnalités proposées. Lorsque ceux-ci avaient le sentiment de maîtriser l'application et d'être prêts à passer à la phase de test, ils pouvaient stopper la phase de familiarisation avant que les 5 min ne soient écoulées.

Après chaque phase de familiarisation, les élèves devaient se positionner sur une échelle de Likert de 1 à 5 mesurant leur sentiment d'auto-efficacité concernant la tâche à réaliser.

1.5.3. Phase de test

A chaque phase de test, l'élève est confronté à une tâche de lecture-compréhension déclinée sous une des trois versions : une version contrôle (VC), une version intégrée (VI) ou une version intégrée multimodale (VIM). Les versions ont été contrebalancées sur les trois tâches, ainsi que l'ordre de réalisation des trois tâches. Les consignes de chaque phase test étaient identiques à chaque fois :

Imagine maintenant que je suis ton professeur de français. Je vais te demander de répondre à plusieurs questions sur ton manuel scolaire numérique de français. Si tu veux expliquer en même temps que tu utilises le manuel ce que tu fais, tu peux le faire parce que cela nous aide à comprendre, mais ce n'est pas une obligation. Tu peux aussi nous demander de l'aide en cas de besoin.

Au cours des trois phases de test, les participants devaient répondre à des questions relatives au poème.

Pour chacune des tâches de lecture-compréhension, les mesures suivantes sont prélevées :

- Performance : il s'agit du nombre de bonnes réponses aux questions.
- Temps de réalisation de la tâche. Le temps de réalisation de l'exercice est mesuré à partir du moment où l'élève accède à la première question jusqu'à ce qu'il notifie à l'expérimentateur qu'il a terminé. Une limite de temps de 15 minutes est fixée par exercice. Au-delà de celle-ci, l'expérimentateur stoppe le participant.

Nous avons mesuré la charge mentale perçue, la facilité perçue pour : accéder aux questions, lire le poème, passer du poème aux questions et saisir les réponses sur une échelle de Likert de 1 à 5.

1.5.4. Phase de Post-test

En fin de séance, les participants devaient répondre à un questionnaire visant à comparer les trois versions. Pour les aider à se rappeler des trois versions, des impressions papiers agrandies étaient disponibles pour chaque version. L'objectif ici est de recueillir des éléments relatifs aux sentiments et perceptions des élèves concernant les trois versions. D'une part, ces données devraient permettre d'identifier d'éventuels écarts entre les performances et les perceptions des élèves. D'autre part, les données plus qualitatives permettront d'identifier les bénéfices et limites perçues par les élèves pouvant impacter l'acceptabilité de ce type de version.

2. Résultats

L'objectif de cette étude est de comparer trois versions : une version contrôle, une version intégrée et une version intégrée-multimodale. Au préalable, une ANOVA a permis de vérifier l'absence d'impact de l'exercice sur l'ensemble des mesures présentées ci-après. Aussi, les analyses statistiques viseront principalement à comparer les versions entre elles. Le codage des données a été réalisé en aveugle.

2.1. Données descriptives

Seul un élève ne dispose pas d'ordinateur en contexte scolaire. Il dit préférer les versions papier agrandi. Les autres élèves disposent tous d'un ordinateur portable qu'ils utilisent tous les jours pour des tâches scolaires (en temps scolaire). Les élèves constituant l'échantillon sont novices en matière d'utilisation de manuel scolaire numérique. Aucun élève n'a indiqué présenter un trouble des apprentissages.

Au niveau des tailles d'affichages préconisées, nous obtenons le découpage (Tableau 19) allant d'une taille 14 à 36, avec une prédominance de la taille 18. Plus de 40% de notre échantillon a besoin d'un agrandissement supérieur ou égal à 24. Cinq données sont manquantes car les élèves n'étaient pas en mesure de donner cette information. Cette mesure n'était pas présente dans les précédents recueils. Son ajout découle d'une observation : les élèves très malvoyants semblent particulièrement en difficultés lors de l'utilisation du manuel scolaire numérique. Ce point est très difficile à quantifier puisque la population est hétérogène et qu'il n'est pas possible de recueillir des informations concernant le type de déficience visuelle. Aussi, cette mesure a été ajoutée afin de pouvoir, peut-être, identifier un seuil critique au-delà duquel le manuel scolaire numérique n'est plus utilisable par un élève malvoyant. `

Une autre mesure concernait l'intérêt pour le français. L'objectif étant de contrôler que les groupes présentent des sentiments relativement proches vis-à-vis de la matière abordée dans les exercices afin que cela n'affecte pas les résultats. Concernant les scores moyens d'intérêt pour le français, on observe une moyenne de 3.5 ($ET = 1.1$, étendue = 1-5).

Tableau 19. Répartition des besoins en termes de taille d'affichage de contenus textuels.

Taille	Nombre d'élève	% Total
14	1	5.3%
16	1	5.3%
18	7	36.8%
20	1	5.3%
22	1	5.3%
24	2	10.5%
28	1	5.3%
30	2	10.5%
36	3	15.8%

2.2. Familiarisation

Trois indicateurs ont été mesurés à cette phase : le temps mis par l'élève à se familiariser avec le format de présentation, le nombre de questions posées par l'élève durant cette phase et le sentiment d'auto-efficacité rapporté à l'issue de cette phase. Les temps de familiarisation ne varient pas significativement en fonction des trois formats comparés, $F(1.27, 29.27) = 0.25$, $p = .68$, $\eta^2_p = .011$). Le nombre de questions posées est significativement supérieur pour le format contrôle ($M = 1.12$, $ET = 99.2$) en comparaison au format intégré ($M = 0.12$, $ET = 110$) et au format intégré-multimodal ($M = 0.45$, $ET = 266$; $F(2, 46) = 9.68$, $p < .001$, $\eta^2_p = .029$). Le sentiment d'auto-efficacité est, quant à lui, significativement supérieur pour les versions intégrée ($M = 4.21$, $ET = .19$) et intégrée multimodale ($M = 4.21$, $ET = .19$) en comparaison à la version contrôle ($M = 3.54$, $ET = .19$; $F(2, 46) = 5.66$, $p = .006$, $\eta^2_p = .198$).

2.3. Tâche de lecture-compréhension

2.3.1. Non atteinte du but des exercices de lecture-compréhension

Les résultats montrent que 37,5% des participants ne sont pas parvenus à compléter les tâches dans le temps imparti des 15 minutes ou ont abandonné dans la version contrôle. Dans cette condition, neuf participants sur les 24 ne sont pas parvenus à compléter la tâche. Cinq d'entre eux n'avaient pas terminé la tâche à l'issue des 15 min et 4 ont abandonné. Tous les participants sont parvenus à finaliser les tâches dans les versions intégrée et intégrée-multimodale.

2.3.2. Temps de réalisation des exercices de lecture-compréhension

Le temps nécessaire à la réalisation de l'exercice est significativement supérieur dans la version contrôle ($M = 506$, $ET = 239$) en comparaison aux versions intégrée ($M = 295$, $ET = 206$) et intégrée multimodale ($M = 293$, $ET = 146$; $F(2, 46) = 17$, $p < .001$, $\eta^2_p = .474$).

2.3.3. Le nombre de demandes d'aide

Des ANOVA à mesures répétées ont été faites avec application d'une correction Greenhouse-Geisser lorsque les conditions de sphéricité n'étaient pas respectées. Le nombre de demandes d'aide est significativement supérieur ($F(1.18, 27.04) = 15$, $p < .001$, $\eta^2_p = .30$) en condition contrôle ($M = 2.42$, $ET = 2.60$) en comparaison aux conditions intégrée ($M = 0.29$, $ET = .75$) et intégrée multimodale ($M = 0.45$, $ET = 0.78$). On note un très faible nombre de demandes d'aide pour ces deux versions.

Nous avons reproduit ces tests en différenciant cette fois les demandes d'aide qui portaient sur l'utilisation de l'outil (p. ex. « comment on fait pour écrire ? ») des demandes d'aide qui portaient sur la tâche (p. ex. ça veut dire quoi « bruyère » ?). Le nombre de demandes d'aide portant sur l'outil dans la condition contrôle ($M = 2.33$, $ET = .31$) est significativement supérieur ($F(1.09, 24.99) = 17.6$, $p < .001$, $\eta^2_p = .31$) à celui constaté dans les versions intégrée ($M = .08$, $ET = .31$) et intégrée multimodale ($M = .42$, $ET = .31$). En revanche, il n'y a pas de différence concernant les demandes d'aide portant sur la tâche entre les conditions contrôle ($M = .08$, $ET = .10$), intégrée ($M = .21$, $ET = .10$) et multimodale ($M = .17$, $ET = .10$; $F(2, 46) = .36$, $p = .70$, $\eta^2_p = .11$).

2.3.4. Les performances à la tâche de lecture-compréhension

Les performances à la tâche de lecture-compréhension (score maximal = 2) diffèrent en fonction de la version, $F(2, 46) = 5.42$, $p = .008$, $\eta^2_p = .191$. Au plan descriptif, elles sont supérieures pour les versions intégrée ($M = .42$, $ET = .39$) et intégrée multimodale ($M = .53$, $ET = .36$) en comparaison à la version contrôle ($M = .24$, $ET = .3$). Au plan statistique, seule la différence entre la version contrôle et la version intégrée multimodale est significative, $t(46) = -3.25$, $p_{\text{tukey}} = .006$.

Une seconde mesure de la performance renvoie au nombre de mots constituant la réponse. Si cet indicateur ne reflète pas nécessairement la qualité des processus de lecture-compréhension, il pourrait refléter l'utilisabilité de l'outil d'annotation. Cette mesure a été construite sur la base des données recueillies dans le test d'utilisabilité. Face aux difficultés pour annoter à l'intérieur du manuel scolaire, les élèves voyants et malvoyants adoptaient une stratégie visant à raccourcir leurs réponses. Au plan descriptif, les élèves produisent des réponses plus longues dans la version intégrée multimodale ($M = 18.44$, $ET = 20.3$) que dans la version intégrée ($M = 12.31$, $ET = 8.16$), elle-même produisant des réponses plus longues que la version contrôle ($M = 6.67$, $ET = 6.48$). Il y a au moins une différence significative entre ces trois versions, $F(1.34, 30.78) = 6.26$, $p = .004$, $\eta^2_p = .214$ et un test post-hoc de Tuckey révèle que le seul écart significatif se trouve entre la version multimodale et la version contrôle, $t(46) = -3.54$, $p_{\text{tukey}} = .003$.

Rappelons que dans la version contrôle, les participants ont deux fonctionnalités possibles pour annoter textuellement : l'annotation par clic droit et la trousse. Trois élèves n'ont pas écrit du tout. On observe que sur vingt élèves, douze utilisent la trousse, huit

l'annotation par clic droit. Ce résultat peut s'expliquer, en partie, par l'impossibilité d'agrandir la zone d'annotation de l'annotation par clic droit.

2.4. Évaluations subjectives

La charge mentale perçue est inférieure pour les version intégrée ($M = 2.50, ET = .23$) et intégrée multimodale ($M = 2.29, ET = .23$) en comparaison à la version contrôle ($M = 3.33, ET = .23$), l'écart le plus grand étant observé entre la version intégrée multimodale et la version contrôle ($F(2, 46) = 11.9, p < .001, \eta^2_p = .342$).

Il y a un effet significatif de la version sur la facilité d'accès estimée, ($F(1.58, 36.43) = 24.4, p < .001, \eta^2_p = .52$). Les contenus des versions intégrée ($M = 4.29, ET = .21; t(46) = -5.16, p_{\text{tukey}} < .001$) et intégrée multimodale VIM ($M = 4.58, ET = .21; t(46) = -6.48, p_{\text{tukey}} < .001$) sont jugés plus faciles d'accès que ceux de la version contrôle VC ($M = 2.62, ET = .21$).

Les scores moyens d'évaluation de la facilité de lecture des poèmes ne diffèrent pas significativement en fonction des trois versions, ($F(2, 46) = 1.11, p = .33, \eta^2_p = .515$). Les poèmes ont été jugés plutôt faciles à lire qu'ils soient présentés en version contrôle ($M = 4.04, ET = .22$), intégrée ($M = 4.25, ET = .22$) ou multimodale ($M = 4.29, ET = .22$).

2.4.1. Facilité de transition

Concernant l'évaluation de la facilité de transition entre le poème et les questions, les versions intégrée ($M = 4.62; ET = .21$) et intégrée multimodale ($M = 4.37, ET = .21$) donnent lieu à des scores supérieurs à la version contrôle VC ($M = 2.58, ET = .21; F(1.57, 36.10) = 39.7, p < .001, \eta^2_p = .046$). Notons que les scores pour les versions intégrée et intégrée-multimodale sont proches du score maximum, alors que le score moyen de la version contrôle est inférieur à la moyenne.

2.4.2. Facilité d'annotation

Les versions intégrée ($M = 4.71, ET = .19; t(46) = -8.17, p_{\text{tukey}} < .001$) et intégrée multimodale ($M = 5, ET = .19; t(46) = -7.17, p_{\text{tukey}} = . < .001$) obtiennent des scores moyens d'évaluation de la facilité à rédiger sa réponse significativement supérieurs à la version contrôle ($M = 2.87, ET = 0.19; F(1.31, 48.57) = 37.0, p < .001, \eta^2_p = .633$). Ici encore, les scores pour les versions intégrée et intégrée multimodale sont proches du score maximum, alors que le score moyen de la version contrôle est inférieur à la moyenne.

2.4.3. Classement des versions par ordre de préférence

Au plan descriptif, la répartition des rangs en fonction des versions (Tableau 20) révèle que c'est la version multimodale qui est la plus fréquemment citée en rang 1 (15 élèves sur 24), la version intégrée en rang 2 (14 élèves sur 24) et la version contrôle est majoritairement classée en troisième et dernière position (22/24 élèves). Notons qu'aucun élève n'a classé cette version en première position. Seuls deux élèves ont classé les versions intégrée et multimodale en dernière position.

Au plan statistique, le test de Friedman confirme que les rangs moyens diffèrent significativement en fonction des versions, ($\chi^2 = 31, p < .001$). Les comparaisons par Durbin-Conover indiquent que les rangs moyens attribués à la version contrôle sont significativement supérieurs à la version intégrée ($D = 7.12, p < .001$) et intégrée multimodale ($D = 8.55, p < .001$)

2.4.4. Classement des versions pour une utilisation en classe

Les résultats observés concernant le classement des trois versions (Tableau 21) pour une utilisation en classe révèlent de nouveau que la version contrôle a été classée majoritairement en 3^{ème} position (21 élèves sur 24). Les versions intégrée et intégrée multimodale se partagent les premières et seconde place, mais cette fois, c'est la version intégrée qui est le plus fréquemment positionnée en rang 1.

Au plan statistique, le test de Friedman confirme que les rangs moyens diffèrent significativement en fonction des versions, ($\chi^2 = 22.8, p < .001$). Les comparaisons par Durbin-Conover indiquent que les rangs moyens attribués à la version contrôle sont significativement supérieurs à la version intégrée ($D = 6.08, p < .001$) et intégrée multimodale ($D = 5.10, p < .001$)

2.4.5. Classement des versions pour une utilisation à la maison

Les résultats observés concernant le classement des trois versions pour une utilisation à la maison (Tableau 22) sont proches de ceux observés au niveau du classement général : c'est la version multimodale qui est la plus fréquemment citée en rang 1 (13 élèves sur 24), la version intégrée en rang 2 (12 élèves sur 24) et la version contrôle est majoritairement classée en troisième et dernière position (20/24 élèves).

Au plan statistique, le test de Friedman confirme que les rangs moyens diffèrent significativement en fonction des versions, ($\chi^2 = 22.8, p < .001$). Les comparaisons par

Durbin-Conover indiquent que les rangs moyens attribués à la version contrôle sont significativement supérieurs à la version intégrée ($D = 5.85, p < .001$) et intégrée multimodale ($D = 5.26, p < .001$)

2.4.6. Classement des versions en fonction de leur satisfaction

Concernant le classement des trois versions de la plus à la moins satisfaisante (Tableau 23), 15 élèves sur 24 donnent la version multimodale en rang 1. En rang 2, c'est la version intégrée qui est le plus fréquemment citée (14 élèves sur 24), tandis que le rang 3 est majoritairement attribué à la version contrôle (21 élèves sur 24).

Au plan statistique, le test de Friedman confirme que les rangs moyens diffèrent significativement en fonction des versions, ($\chi^2 = 26.3, p < .001$). Les comparaisons par Durbin-Conover indiquent que les rangs moyens attribués à la version contrôle sont significativement supérieurs à la version intégrée ($D = 5.47, p < .001$) et intégrée multimodale ($D = 7.15, p < .001$)

Tableau 20. Classement des versions par préférence des utilisateurs.

	1 ^{er}	2 nd	3 ^{ème}
Version contrôle	0	2	22
Version intégrée	9	14	8
Version intégrée-multimodale	15	8	1

Note. 1^{er} : version préférée ; 2nd : version moyenne préférée ; 3^{ème} : version la moins appréciée

Tableau 21. Classement des versions pour une utilisation en classe par préférence des utilisateurs.

	1 ^{er}	2 nd	3 ^{ème}
Version contrôle	2	1	21
Version intégrée	14	8	15
Version intégrée-multimodale	21	2	1

Note. 1^{er} : version préférée ; 2nd : version moyenne préférée ; 3^{ème} : version la moins appréciée

Tableau 22. Classement des versions pour une utilisation à la maison par préférence des utilisateurs.

	1 ^{er}	2 nd	3 ^{ème}
Version contrôle	1	3	20
Version intégrée	10	12	9
Version intégrée-multimodale	20	2	2

Note. 1^{er} : version préférée ; 2nd : version moyenne préférée ; 3^{ème} : version la moins appréciée

Tableau 23. Classement des versions selon la satisfaction des utilisateurs.

	1 ^{er}	2 nd	3 ^{ème}
Version contrôle	1	2	21
Version intégrée	8	14	2
Version intégrée-multimodale	15	8	1

Note. 1^{er} : version préférée ; 2nd : version moyenne préférée ; 3^{ème} : version la moins appréciée

Tableau 24. *Classement du poème selon la difficulté perçue par les utilisateurs.*

Le Vent	1 ^{er}	2 nd	3 ^{ème}
Version contrôle	6	2	0
Version intégrée	2	4	2
Version intégrée-multimodale	1	4	3

Tableau 25. *Classement du poème selon la difficulté perçue par les utilisateurs.*

Le Temps à laisser son manteau	1 ^{er}	2 nd	3 ^{ème}
Version contrôle	6	1	1
Version intégrée	0	3	5
Version intégrée-multimodale	2	3	3

Tableau 26. *Classement du poème selon la difficulté perçue par les utilisateurs.*

Le jardin et la maison	1 ^{er}	2 nd	3 ^{ème}
Version contrôle	7	1	0
Version intégrée	0	3	5
Version intégrée-multimodale	0	3	5

2.4.7. Classement des poèmes en fonction de leur difficulté

Rappelons que l'objectif poursuivi en demandant aux élèves de classer les poèmes est d'observer si la perception de difficulté du poème dépend du poème lui-même ou bien de la version dans laquelle il a été consulté.

Au plan statistique, le test de Friedman ne montre pas de différence statistique concernant la perception de difficulté en fonction du poème, ($\chi^2 = 1.08, p = .58$).

À un niveau descriptif, la version dans laquelle le poème a été consulté impacte la perception de difficulté chez les participants. Ainsi, lorsque les poèmes sont consultés en version contrôle, ils sont majoritairement jugés comme plus complexes, soit en première position (Tableau 24, 25 et 26).

2.4.8. Points positifs et négatifs rapportés par les élèves malvoyants pour chaque version

Avant de conclure la session de test, les élèves devaient rapporter, pour chaque version, un élément apprécié et un élément pas apprécié.

Les principaux éléments positifs cités concernant la version contrôle sont relatifs à l'aspect esthétique (p. ex. « ce que j'aime c'est la couleur et l'image »), le fait de pouvoir agrandir par zone et la possibilité d'écrire à l'intérieur du manuel (Tableau 27).

Tableau 27. Synthèse des avantages et inconvénients de la version contrôle énoncés par les participants.

Version contrôle	
Les avantages	Les inconvénients
Zoom par zone (8/24)	Complexité de l’outil d’écriture (8/24)
Possibilité d’écrire dans le manuel (4/24)	Difficultés de navigation (7/24)
Présentation esthétique (4/24)	Zoom insuffisant (5/24)
Lisibilité (1/24)	Absence de vue d’ensemble (1/24)
Double page (1/24)	Surcharge visuelle (1/24)
Absence de réponse (4/24)	Absence de réponse (2/24)

Classiquement, ces élèves disposent de versions PDF. Pour répondre aux questions du manuel, ils réalisent des copié-collé du livre sur un fichier Word. Ils répondent ensuite aux questions sur ce fichier. Le manuel scolaire numérique, quant à lui, dispose de fonctionnalités d’annotation intégrée. Si cette possibilité constitue un avantage, elle est également souvent évoquée comme principale critique. Plusieurs élèves ont verbalisé leurs difficultés : « j’ai galéré à chercher le truc pour écrire », « fallait toujours changer et enlever », ou encore « Écrire. C’est un peu pénible ».

Deux autres critiques apparaissent concernant la navigation dans le manuel scolaire et le zoom trop souvent insuffisant. En rapport avec les difficultés de navigation un élève dira : « Ce qui me gêne le plus c’est l’accessibilité. L’écriture et devoir toujours aller chercher. Devoir ouvrir pour grossir, puis après fermer pour après aller voir. » L’absence de vue d’ensemble et la surcharge visuelle est aussi identifiée par les participants. Une élève exprimera le fait d’être parfois troublé par les images dans le manuel scolaire numérique : « Ce n’est pas que ça me gêne (les images) mais ça m’embrouille un peu. ».

Les versions intégratives (Tableau 28) et intégrative multimodale (Tableau 29) comptabilisent respectivement huit et sept fois la réponse « rien » concernant les éléments pas appréciés. Pour ces deux versions, le fait de bénéficier d’une vue d’ensemble est incontestablement un atout. Certains élèves ont répondu : « j’aime qu’il y ait tout sur la même page », « je trouve qu’on peut mieux voir parce que là y’a direct l’exercice en question » ou encore « C’est clair. On sait où sont les questions et le texte. On arrive à bien différencier ». Les élèves énoncent comme avantage de ces deux versions une simplicité d’utilisation incluant la navigation en générale mais surtout le fait d’accéder aux questions et d’y répondre dans la zone prévue à cet effet. La fonctionnalité audio apparaît largement comme positive puisque 14 des élèves l’identifient comme principal atout et sa présence est regrettée dans la version intégrative.

Tableau 28. Synthèse des avantages et inconvénients de la version intégrative énoncés par les participants.

Version intégrative	
Les avantages	Les inconvénients
Vue d'ensemble (11/24)	Rien (8/24)
Facilité d'accès aux questions (7/24)	Absence d'audio (6/24)
La qualité de l'écrit (p.ex. position du texte) (3/24)	Perte d'élément lorsque le zoom est maximal (4/24)
Zone de réponse (1/24)	Accès aux questions (1/24)
Absence de réponse (2/24)	Absence d'image/vidéo (2/24)
	Absence de réponse 1/24

Tableau 29. Synthèse des avantages et inconvénients de la version intégrative multimodale énoncés par les participants.

Version intégrative multimodale	
Les avantages	Les inconvénients
Audio (14/24)	Rien (7/24)
Vue d'ensemble (6/24)	Pas d'audio partout (6/24)
Navigation simple (2/24)	Perte d'élément lorsque le zoom est maximal (4/24)
Vue simple (1/24)	Texte trop long (1/24)
Rien (1/24)	Manque de personnalisation (1/24)
	Ne sait pas (3/24)

Les élèves déplorent aussi que l'intégralité des contenus de la version intégrée multimodale ne soient pas disponibles en audio (p. ex. « le point négatif c'est que je trouve que ça aurait été mieux (le poème) en audio aussi »). Une critique émise à l'égard de la version intégrée concerne l'affichage de la vue d'ensemble lorsque le zoom est très actif. Le menu représentant les questions cache alors le poème à lire et la zone de réponse devient difficile à appréhender visuellement (p. ex. « on ne peut pas avoir tout le texte si on zoom beaucoup »). Aussi, si la police Luciole a été choisie car développée spécifiquement pour les élèves avec un trouble de la fonction visuelle, certains souhaiteraient pouvoir personnaliser l'affichage (police). Enfin, deux élèves déplorent l'absence d'image et de couleurs (p. ex. « y'a trop d'écriture. En vrai, y'a autant d'écriture dans l'autre mais y'a des images »).

2.5. Synthèse des résultats

Les résultats issus du test de la solution sont synthétisés dans le tableau ci-dessous (Tableau 30).

Tableau 30. *Tableau récapitulatif des résultats du test de la solution.*

Principaux résultats	
Phase de familiarisation	Temps de familiarisation : pas de différence significative Nombre de questions posées : VC > VI et VIM Sentiment d'auto-efficacité : VC < VI et VIM
Phase de test	4 abandons avant la fin du temps imparti en VC, 0 en VI et VIM 5 élèves n'ont pas terminé l'exercice avant la fin du temps imparti en VC, 0 en VI et VIM Temps de réalisation des exercices : VC > VI et VIM Nombre de demandes d'aide : VC > VI et VIM Longueur des réponses (nb de mots) : VC < VIM Qualité des réponses fournies : VC < VIM
Évaluations subjectives	Charge mentale : VC > VI et VIM Facilité d'accès : VC < VI et VIM Facilité de lecture : pas de différence significative Facilité de transition : VC < VI et VIM Facilité d'écriture : VC < VI et VIM
Classement	Facilité d'utilisation : 1. VIM, 2. VI, 3. VC Intention d'usage en classe : 1. VI, 2. VIM, 3. VC Intention d'usage à la maison : 1. VIM, 2. VI, 3. VC Satisfaction : 1. VIM, 2. VI, 3. VC Facilité perçue du poème : Le poème consulté en version contrôle est perçu comme plus complexe.

Note. VC = version contrôle ; VI = version intégrée ; VIM = version intégrée-multimodale

3. Discussion

L'objectif de cette étude était d'évaluer de nouveaux principes de présentation de l'information dans les manuels scolaires numériques pour mieux répondre aux besoins spécifiques d'élèves malvoyants. L'analyse des difficultés des élèves avec un trouble de la fonction visuelle lorsqu'ils utilisent un manuel scolaire numérique a mis en évidence des besoins spécifiques à ces élèves et d'autres, généralisables à l'ensemble des utilisateurs. Par exemple, les élèves avec trouble de la fonction visuelle ont besoin de pouvoir utiliser les technologies d'assistance ou le zoom de façon homogène pour accéder à l'ensemble de manuel scolaire numérique. Ils ont également besoin d'avoir une vision d'ensemble de la structure du manuel sur un espace réduit, de pouvoir contrôler la granularité des niveaux de titres affichés (p. ex. menu dépliant), de disposer d'indices permettant de savoir où ils se trouvent sur la page et de pouvoir limiter les déplacements entre des contenus à traiter. Des difficultés importantes

que rencontrent les élèves malvoyants découlent d'un effet de partage de l'attention qui semble accroître la charge mentale, augmenter les temps de réalisation et dans certains cas réduire les performances, voire empêcher la réalisation de l'objectif. L'expérience réalisée ici avait pour objectif de tester trois principes de solution visant la réduction de l'effet de partage attentionnel : l'intégration spatiale, la pertinence et la multimodalité.

Des élèves malvoyants devaient réaliser 3 tâches de lecture-compréhension consistant à répondre dans le manuel à des questions sur un poème. Chaque tâche était présentée selon un format séparé, intégré ou intégré-multimodal. Le format séparé correspond au format pratiqué classiquement dans les manuels scolaires numériques : une double page contenant des blocs d'information dont certains sont utiles à la tâche et d'autres non, les blocs d'informations utiles étant distants les uns des autres. Dans le format intégré, les contenus de la double-page sont filtrés et réorganisés : seuls les blocs utiles sont conservés (le texte à lire, des questions à instruire et une zone de réponse) et rapprochés. Lorsque les élèves zoomaient, les trois zones s'agrandissaient simultanément mais restaient toutes visibles sur une même vue. Seule la zone correspondant au texte à lire pouvait être scrollée de haut en bas. Le format intégré multimodal ajoute au format précédent une dimension multimodale puisque les contenus à traiter en sus d'être filtrés et réorganisés sont répartis sur deux modalités sensorielles. Cette condition permet de diminuer la charge perceptive visuelle et de solliciter deux canaux sensoriels.

Pour chaque tâche, la performance et le temps pour atteindre l'objectif étaient mesurés ainsi que des évaluations subjectives : mesure de charge mentale subjective, mesure de sentiment d'auto-efficacité, de facilité d'accès, de lecture, de transition, d'écriture. En post-test, les participants devaient également exprimer leurs préférences en classant les différents formats en fonction de leur facilité d'utilisation, intention d'usage en classe, intention d'usage à la maison, satisfaction. Ils devaient ensuite classer les poèmes en fonction de leur facilité perçue et identifier un avantage et inconvénient pour chaque version.

Il était attendu un avantage des formats intégré et intégré multimodal par comparaison au format classique, que ce soit en termes de charge mentale subjective, de temps de réalisation, de performances à la tâche ou de préférences.

Un avantage des formats intégré et intégré multimodal est observé dès la phase de familiarisation : le format classique entraîne un sentiment d'auto-efficacité plus faible et conduit les élèves à poser plus de questions que les deux formats modifiés. Toutefois, ces

résultats sont délicats à interpréter car la comparaison des formats étant en intra-sujet et les formats intégré et multimodal ayant un design très similaire, il est possible que la familiarisation à l'un des 2 formats ait été facilitée par celle à l'autre format.

La supériorité des formats intégré et intégré multimodal 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 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 lors de l'étude présentée dans le Partie III – Chapitre 2, 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 dits germane, c'est-à-dire 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.

Enfin, le format de présentation du contenu semble avoir un impact sur la perception de difficulté de celui-ci. Lorsque le poème est consulté en version contrôle, les élèves ont un sentiment de difficultés perçu supérieur à celui ressenti lorsque ce même contenu est présenté dans une des deux versions intégrées, alors même qu'il s'agit du même contenu.

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. Sur ce point, des études complémentaires manipulant de façon isolée et combinée les différents principes (pertinence, rapprochement et multimodalité) permettraient d'évaluer plus finement les effets de chaque principe.

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.

4. Conclusion

Les principaux résultats obtenus dans cette expérience montrent qu'il est possible de proposer des formats de présentation qui aident les élèves à surmonter une partie des difficultés observées lorsqu'ils doivent interagir avec le manuel scolaire numérique pour réaliser une tâche qui nécessite d'intégrer plusieurs sources d'informations. Les formats évalués combinaient des principes déjà connus dans la littérature sur l'apprentissage multimédias (Mayer, 2014): le filtrage des informations pertinentes pour la tâche renvoie au principe de cohérence dans la théorie de l'apprentissage multimédias (van Gog, 2014) ; le rapprochement spatial est basé sur le principe de contiguïté spatiale (Mayer, 2014a) ; enfin, un des formats évalué intégrait en sus un principe multimodal également préconisé par cette théorie (Low & Sweller, 2014). Ainsi, il apparaît que ces principes qui n'ont pas été spécifiquement élaborés pour un public d'apprenants avec un trouble de la fonction visuelle, sont adaptés pour répondre à leurs besoins spécifiques.

Plus généralement, les résultats obtenus pourraient servir de point de départ pour repenser les principes régissant l'organisation de l'information dans les manuels scolaires numériques. Actuellement très inspirés du support papier, les manuels scolaires numériques peinent à se départir des contraintes de ce support, notamment l'espace figé de la page. Or, une des spécificités du numérique est la possibilité d'offrir des affichages flexibles de contenus. Nous reviendrons sur ce point en discussion générale.

Partie V – DISCUSSION GÉNÉRALE

Chapitre 1 Rappel du contexte et des objectifs

Aujourd'hui les élèves à besoins éducatifs particuliers sont scolarisés dans les établissements scolaires ordinaires. Ces élèves sont donc confrontés, comme leurs pairs voyants, à l'utilisation d'outils et de ressources numériques dans le cadre de leurs apprentissages. Si des mesures spécifiques visent à accompagner la scolarisation de ces élèves, notamment par la mise à disposition d'aides techniques (p. ex. un ordinateur portable), la question de l'accessibilité des ressources pédagogiques numériques comme les manuels scolaires numériques mérite d'être posée en raison des enjeux moraux et sociétaux qui y sont associés. La quantité souvent importante des contenus sollicitant la modalité visuelle dans ces ressources (Chunawala et al., 2009) couplée à l'arrivée sur le marché de versions numériques pose plus que jamais la question de leur accessibilité pour des élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle. Il s'agit d'une part, que ces outils et ressources ne se constituent pas un obstacle supplémentaire mais idéalement en levier pour les apprentissages, et d'autre part, de garantir aux élèves à besoins éducatifs particuliers les mêmes chances de réussite que leurs camarades.

Cette recherche appliquée avait pour double objectif d'évaluer l'accessibilité des manuels scolaires numériques pour les élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle et de concevoir des solutions pour l'améliorer. Plus précisément, il s'agissait de construire des connaissances spécifiques en matière d'accessibilité des ressources numériques pour l'éducation, en répondant à plusieurs questions : 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 ?

Chapitre 2 Contributions

1. Comment les élèves présentant un trouble de la fonction visuelle accèdent aux contenus pédagogiques numériques et interagissent avec eux ?

Un premier constat renvoie à une utilisation encore limitée des ressources numériques par les élèves en général. En effet, dans le cadre d'une étude exploratoire de terrain, hormis le tableau blanc interactif, il a été extrêmement rare d'observer les élèves interagir avec des contenus numériques autres que ceux fournis par les services d'accompagnements. Les observations en classe ont dû être élargies à la Suède afin d'augmenter le nombre d'observations d'utilisation de contenus pédagogiques numériques par les élèves.

En outre, les contenus mis à disposition par les structures d'accompagnement sont majoritairement au format papier, et ce, bien que les élèves soient équipés d'outils informatiques. L'étude exploratoire a mis en évidence des différences marquées entre la France et la Suède en matière d'adaptation des contenus pédagogiques. La France continue de privilégier une adaptation des contenus pédagogiques au cas par cas et principalement sur support papier. Le recours au papier est particulièrement marqué pour les élèves aveugles qui disposent de versions braille. Les élèves malvoyants, eux, bénéficient généralement de leurs manuels scolaires en versions PDF. Cependant, ces versions sont en réalité constituées d'images du document. Elles n'exploitent donc qu'une infime partie des fonctionnalités disponibles dans les formats numériques (p. ex. interactivité, multimodalité) et n'ont bénéficié d'aucun aménagement pédagogique. 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.

Si l'on s'intéresse spécifiquement au cas du manuel scolaire numérique, là encore, est constatée une faible utilisation par les élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle. Cette faible utilisation peut s'expliquer par le fait qu'actuellement les structures qui accompagnent les élèves ne fournissent généralement pas ces manuels. Aussi, le papier reste encore privilégié dans les établissements scolaires français. De plus, actuellement, les manuels scolaires numériques ne sont pas accessibles avec un lecteur d'écran : ils ne peuvent donc pas être utilisés par les élèves non-voyants.

Une analyse des usages du manuel scolaire numérique chez les élèves malvoyants basée sur une enquête par questionnaire et des entretiens auprès d'élèves équipés de manuels scolaires numériques a permis de caractériser différentes dimensions de leur utilisation et des problèmes rencontrés par ces élèves. Les élèves malvoyants 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 malvoyant, 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.

En résumé, 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. De ce point de vue, les 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. 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). Ainsi, il apparaît que différents facteurs agissent

comme déterminants de 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.

2. Quelles difficultés rencontrent les élèves malvoyants et non-voyants lors de l'utilisation d'un manuel scolaire numérique ? Quelles sont les causes de ces difficultés et leurs conséquences ?

Une première difficulté concerne l'impossibilité d'accéder au manuel scolaire numérique pour les élèves qui utilisent un lecteur d'écran pour accéder aux ressources pédagogiques numériques. Ainsi, les élèves non-voyants ne peuvent pas utiliser le manuel scolaire numérique. Concernant les élèves malvoyants, la possibilité d'accéder ou non au manuel scolaire numérique dépend alors du caractère suffisant ou non de la fonctionnalité d'agrandissement intégrée au manuel scolaire numérique. Ces difficultés concernent principalement l'aspect technique et pourraient être à minima réduites par la mise en conformité du manuel à des normes et standards d'accessibilité (p. ex. WCAG, A2RNE). Une inspection ergonomique d'un manuel scolaire numérique montre en effet qu'il y a une marge de progression quant au respect de critères ergonomiques et d'accessibilité.

Le respect des normes et standards permettrait également de supprimer les difficultés relatives à des problèmes de lisibilité des contenus visuels. Par exemple, les élèves malvoyants ont des difficultés pour discriminer les signaux visuels (p. ex. l'utilisation du gras pour mettre en valeur un mot) et percevoir les pictogrammes. Lors des tests utilisateurs, des élèves ont parfois écrit leurs réponses sans être en mesure de pouvoir se relire car il était impossible d'agrandir le texte à la taille souhaité. Les causes de ces problèmes sont diverses : des contrastes trop faibles et une fonctionnalité d'agrandissement qui ne fonctionne pas sur l'intégralité du manuel scolaire numérique et sur l'application qui permet sa lecture.

Si certains élèves malvoyants accèdent au manuel scolaire numérique, des test utilisateurs réalisés auprès d'élèves tout-venant et malvoyants indiquent des problèmes d'utilisabilité. Les élèves malvoyants ont des difficultés pour appréhender la structure globale, se situer au sein de la double page et traiter des informations spatialement éloignées. Ces difficultés résultent de l'incompatibilité entre les contraintes liées aux modalités spécifiques

d'accès des élèves au manuel numérique et les choix de conception du manuel scolaire numérique. Aujourd'hui, le manuel scolaire numérique présente un affichage proche, voire identique à la version papier, soit une présentation de l'information régie par une double page. Or, les résultats obtenus lors des tests utilisateurs amènent à faire le constat que la présentation de l'information basée sur le principe de la double page est à l'origine de nombreuses difficultés.

Tout d'abord, la présentation de l'information sur une double page implique nécessairement l'agrandissement de la zone à explorer pour accéder à l'information ciblée. Ce point, vrai pour tous les élèves, est particulièrement critique lorsque l'accès est très agrandi et séquentiel. L'élève voyant pourra balayer la page du regard, alors que l'élève malvoyant ne pourra consulter que des parties de la double page séquentiellement, ce qui multiplie les actions de navigation. Ce point est attesté par un sentiment de désorientation supérieur chez les élèves malvoyants en comparaison aux élèves voyants, ainsi que de nombreux aller-retours au plan comportemental lorsque la tâche nécessite d'intégrer des sources d'informations éloignées.

De plus, les doubles pages de manuel contiennent beaucoup d'informations, certaines ayant un rôle ornemental. Ceci impose des exigences de sélection auxquelles tous les élèves doivent répondre mais qui sont particulièrement difficiles à gérer lors d'un accès agrandi. Ainsi, les tests utilisateurs ont permis d'observer que des élèves malvoyants se perdent dans la double page et répondent à tort aux questions de la page de gauche en se référant au poème de la page de droite. Cette erreur n'a jamais observée chez les élèves voyants.

Les élèves malvoyants éprouvent également des difficultés pour interagir avec le manuel scolaire numérique. Ces difficultés concernent le fait d'annoter le manuel scolaire numérique et de rechercher une information au sein de celui-ci. Si ces difficultés peuvent certes être en partie attribuées au manque de familiarité des élèves avec les manuels scolaires numériques, d'autres causes ont pu être identifiées grâce à l'inspection d'un manuel scolaire numérique. Certaines difficultés sont liées à l'ergonomie du document et concernent donc tous les élèves : le manque de cohérence dans les actions à effectuer, le nombre important de fonctions différentes pour accomplir une même tâche (p. ex. l'annotation) ; d'autres relèvent de problèmes d'accessibilité et touchent donc spécifiquement les élèves malvoyants : la faible accessibilité des fonctions lors d'un accès agrandi et l'indisponibilité de fonctions permettant des stratégies compensatoires telles que les raccourcis clavier et la recherche par mot-clé.

En cohérence avec des résultats obtenus dans le champ de l'accessibilité web (Giraud, 2014; Sperandio et al., 2002) et de l'accessibilité des plateformes de e-learning (Evans & Douglas, 2008; Petrie et al., 2004), les études empiriques impliquant des élèves malvoyants réalisées ont montré que les conséquences de ces difficultés sont multiples et peuvent se traduire par la non atteinte du but (c.-à-d. des abandons), des temps pour atteindre l'objectif allongés, des performances à la tâche parfois inférieures, une augmentation de la charge mentale subjective et un sentiment de désorientation supérieur (par comparaison à des élèves tout-venant dans les tests d'utilisabilité, par comparaison avec les formats de présentation améliorés dans l'évaluation d'un principe de conception).

Ainsi, dans les deux études empiriques réalisées, il a été observé des taux d'abandons/échec de 20% et de 37.5% à certaines tâches, alors que la totalité des élèves voyants parvenaient à atteindre leur but (même si cela ne garantit pas que l'élève ait fourni des réponses correctes). Ces chiffres attestent des difficultés importantes lors de l'utilisation du manuel scolaire numérique. Aussi, le fait de ne pas parvenir à réaliser l'objectif pourrait générer un sentiment d'échec et de frustration chez les élèves malvoyants.

Concernant les temps de réalisation des tâches, les résultats indiquent un ordre de grandeur de 1.5 fois supérieur chez les élèves malvoyants en comparaison à un élève voyant. L'allongement des temps pour réaliser la tâche est inférieur à celui observé dans les études concernant l'accessibilité du web pour les utilisateurs aveugles, pouvant atteindre un facteur 8 (Giraud et al., 2011). Ainsi, il semble que bien que déficitaire dans les troubles de malvoyance, l'accès visuel reste plus performant que l'accès braille ou audio. Cependant, pour attester de ce point, il serait nécessaire de mener des études comparatives entre les deux populations sur des corpus identiques. L'allongement des temps de réalisation de 1.5, constant sur toutes les tâches que nous avons étudiées, amène à discuter les aménagements proposés aux élèves à besoins éducatifs particuliers. En France, ces élèves bénéficient d'un tiers temps supplémentaire ; or, cela semble insuffisant pour les élèves malvoyants. En Suède, les aménagements de temps ne précisent pas la durée supplémentaire dont dispose l'élève à besoins éducatifs particuliers. L'élève suédois peut passer autant de temps qu'il le souhaite sur un examen. Notons toutefois que si les temps supplémentaires constituent sans conteste des aménagements utiles (Douglas et al., 2009), dans nos études, certains élèves stoppaient d'eux même la réalisation de l'examen car la fatigue engendrée par les difficultés était trop importante.

En effet, les résultats obtenus au niveau empirique indiquent également une charge mentale subjective supérieure chez les élèves malvoyants, en comparaison aux élèves voyants lors de la réalisation de tâches d'apprentissage du manuel scolaire numérique. Cette charge mentale est extrinsèque au sens où la source de sa mobilisation n'est pas la tâche ou le contenu d'apprentissage mais le format de présentation de l'information (Sweller, 2011). En effet, l'accès agrandi à une double page riche en informations dont certaines doivent être intégrées pour réaliser la tâche augmente les exigences de sélection des informations pertinentes et place les élèves malvoyants en situation d'attention partagée (Ayres & Sweller, 2014), phénomène réputé pour être délétère pour les apprentissages. Ainsi, il semble que les difficultés rencontrées pour utiliser le manuel scolaire numérique consomment une quantité trop importante de ressources cognitives dont l'élève ne dispose plus pour réaliser la tâche.

Enfin, malgré les difficultés d'accessibilité et d'utilisabilité que rencontrent les élèves avec un trouble de la fonction visuelle, ces élèves présentent un sentiment favorable à l'égard du manuel scolaire numérique. Les élèves semblent trouver l'outil facile à utiliser et correspondant bien à leurs besoins. Un premier élément intéressant concerne les atouts du manuel scolaire numérique. Il apparaît clair que le caractère grand public de celui-ci favorise son acceptabilité. Comme souligné dans l'état de l'art, la composante sociale est importante dans le choix d'utiliser ou non un outil. À titre d'exemple, les élèves peuvent rejeter les technologies d'assistances car elles seraient, selon eux, stigmatisantes (Hersh & Johnson, 2008). Le manuel scolaire numérique propose également des fonctionnalités attractives qui correspondent aux besoins des utilisateurs atteints d'un trouble de la fonction visuelle. Par exemple, le manuel scolaire numérique rend possible l'annotation, alors même que cela est plus complexe sur un PDF conçu pour une utilisation de lecture. Les élèves perçoivent aussi toutes les possibilités qu'offrent les ressources audios. Ils évoquent notamment le fait d'avoir recours à l'audio lorsque la fatigue est trop importante ou pour gagner du temps en contexte de pression temporelle. L'analyse des critiques faites par les élèves concernant le manuel scolaire est particulièrement intéressante. Si les élèves évoquent les problèmes d'accessibilité et d'utilisabilité précédemment cités, pour beaucoup, la cause perçue des difficultés est interne. Les élèves évoquent de faibles compétences informatiques et ont parfois tendance à se dénigrer. Si nos analyses ne permettent pas de conclure fermement sur ce point, elles ont le mérite de l'identifier comme piste de recherche à investiguer.

3. Comment concevoir des manuels scolaires numériques qui répondent aux besoins des élèves présentant un trouble de la fonction visuelle ?

L'analyse des difficultés des élèves malvoyants lors de l'utilisation du manuel scolaire numérique ont mis en exergue la nécessité de modifier le format de présentation de l'information pour réduire l'effet de partage attentionnel. A cette fin, 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). Les résultats de l'étude empirique comparant ces deux formats au format traditionnel chez des élèves malvoyants montrent une supériorité de ces formats de présentation. Ces bénéfices sont visibles sur l'ensemble des mesures réalisées. Les formats modifiés permettent un gain de temps (de l'ordre de 1.7 fois inférieur), une suppression des échecs pour réaliser la tâche, de meilleures performances ainsi qu'une diminution de la charge mentale. Aussi, il apparaît que le respect de ces trois principes issus de la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia devrait permettre d'améliorer l'utilisabilité des manuels scolaires numériques pour les élèves atteints d'un trouble de la fonction visuelle.

Concernant le principe de pertinence, il s'agirait d'exploiter les possibilités d'affichage flexible propres au numérique en proposant des affichages filtrés des informations en fonction de la tâche à réaliser. Ce principe permet de diminuer les exigences de sélection d'information, particulièrement critiques lors d'un accès agrandi.

La diminution de la quantité d'informations à l'écran permettra de rapprocher, voire intégrer spatialement les sources d'informations que l'élève doit intégrer mentalement. Ce principe de contiguïté spatiale permettra de diminuer le partage attentionnel et les exigences de navigation associées à l'accès agrandi. L'élève malvoyant bénéficiera d'une économie de ressources lui permettant de mobiliser ses ressources mentales sur la tâche et non sur des activités de navigation.

Une alternative, encore plus bénéfique d'après les résultats observés, renvoie à la mise à disposition de formats multimodaux, couplant présentation visuelle et auditive. Ce format permet une meilleure répartition des informations dans les canaux correspondant aux deux modalités sensorielles et diminuent la charge perceptive visuelle. Ainsi, il semble important d'investiguer davantage les possibilités qu'offre la modalité audio pour les jeunes avec un trouble de la fonction visuelle. Trop souvent rejetée par les professionnels par crainte de perte de compétences académiques (p. ex. compétence orthographique), la modalité audio constitue une alternative à prendre en compte, tant par le gain de temps qu'elle permet que par l'économie de ressources cognitives qu'elle induit. L'usage de l'audio doit être pensé en fonction des contraintes environnementales, temporelles et surtout, en fonction de l'objectif pédagogique poursuivi. Si des freins subsistent aussi du côté des élèves (p. ex. craintes d'être stigmatisé), ils semblent majoritairement conscients des bénéfices que celle-ci pourrait leur apporter. Aussi, la présence grandissante de support audio sur le marché devrait démocratiser leur usage et diminuer le sentiment d'exclusion qu'elle peut susciter. Notons que depuis la rentrée scolaire 2019-2020, une entreprise historiquement spécialisée dans la création de contenus adaptés pour les dyslexiques commercialisent les manuels scolaires numériques des principaux éditeurs en version audio.

Chapitre 3 Limites

Plusieurs limites aux travaux de recherche réalisés doivent être soulignées.

Tout d'abord, malgré les efforts déployés, les échantillons d'élèves atteints de troubles de la fonction visuelle auxquels nous avons eu accès sont de taille réduite. Si cela s'explique en grande partie par la taille réduite de la population parente, d'autres obstacles ont été rencontrés. À titre d'exemple, les recueils réalisés ont nécessité des déplacements dans plus de 19 villes en France pour un total de 6 129,6 km effectués en voiture. De plus, les élèves étant mineurs et en situation de handicap, de multiples démarches ont dû être réalisées auprès de différents acteurs afin de pouvoir les rencontrer, un échec à une seule des étapes suffisant à compromettre la passation. Ainsi, il a été nécessaire de contacter chaque centre spécialisé afin d'obtenir leur accord pour qu'ils puissent faire part de notre étude aux familles des élèves. Une fois l'accord des familles en notre possession, une demande a dû être réalisée auprès de l'ensemble des chefs d'établissement pour avoir l'autorisation de pénétrer au sein des établissements scolaires. Aux démarches administratives se sont ajoutées les difficultés d'organisation pour programmer les sessions de test. Il est rare que deux élèves avec un trouble

de la fonction visuelle soient dans le même établissement. S'il est complexe de bloquer des créneaux dans les emplois du temps des collégiens, faire coïncider la réalisation de plusieurs recueils s'avère un véritable casse-tête. Aussi, les passations ont principalement été réalisées à la fréquence d'une par jour et ont nécessité des temps de déplacement parfois conséquents.

Une autre limite à la généralisation des résultats concerne les manuels scolaires ayant fait l'objet de nos études. Il a été choisi de limiter les analyses à un seul manuel jugé représentatif des manuels en général plutôt que de démultiplier les extraits de manuels étudiés. Cependant, eu égard à des convergences observées entre nos analyses et les travaux de Malti (2018), ce choix ne devrait pas porter préjudice à la généralisation des résultats. De plus, les phénomènes observés tels que le partage attentionnel dans des tâches impliquant plusieurs sources d'information sont suffisamment généraux pour ne pas dépendre d'un manuel en particulier, ni même de la matière (français, mathématiques ou géographie). Ainsi, les principes de solution proposés pour répondre aux besoins spécifiques des élèves malvoyants peuvent tout à fait être appliqués en général dans la conception de ressources pédagogiques numériques.

Chapitre 4 Conclusion générale et perspectives

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.

Cette thèse 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.

Bibliographie

- Ahmed, F., Borodin, Y., Puzis, Y., & Ramakrishnan, I. V. (2012). Why read if you can skim: Towards Enabling Faster Screen Reading. *Proceedings of the International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility*, 1. doi:10.1145/2207016.2207052
- Ahuja, J. S., & Webster, J. (2001). Perceived disorientation: an examination of a new measure to assess web design effectiveness. *Interacting with Computers*, 14(1), 15–29. doi:10.1016/S09535438(01)00048-0
- Amadiou, F., & Tricot, A. (2014). *Apprendre avec le numérique*. Retz. doi :10.14375/NP.9782725633206
- Ancet, P. (2011). Situation de handicap et normes sociales. *Le Carnet PSY*, 158(9), 29. doi :10.3917/lcp.158.0029
- Appleton, L. (2004). The use of electronic books in midwifery education: the student perspective. *Health Information and Libraries Journal*, 21(4), 245–252. doi:10.1111/j.14711842.2004.00509.x
- Ayres, P. (2006). Impact of reducing intrinsic cognitive load on learning in a mathematical domain. *Applied Cognitive Psychology*, 20(3), 287–298. doi:10.1002/acp.1245
- Ayres, P., & Sweller, J. (2014). *The Split-Attention Principle in Multimedia Learning*. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 206–226). Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139547369.011
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556–559. doi.org:10.1126/science.1736359
- Bastien, J. M. C., & Scapin, D. L. (1993). *Critères Ergonomiques pour l'Évaluation d'Interfaces Utilisateurs*. Rapport Technique INRIA, 156. http://www.irit.fr/~Mathieu.Raynal/docs/Ergonomic%7B_%7DCriteria.pdf [0Ahttp://www.irit.fr/~Mathieu.Raynal/docs/Ergonomic_Criteria.pdf](http://www.irit.fr/~Mathieu.Raynal/docs/Ergonomic_Criteria.pdf)
- Bastien, J. M. C., & Tricot, A. (2008). L'évaluation ergonomique des documents électroniques. *Ergonomie des documents électroniques*, 205-227.
- Bayram, G. İ., Corlu, M. S., Aydın, E., Ortaçtepe, D., & Alapala, B. (2015). An exploratory study of visually impaired students' perceptions of inclusive mathematics education. *British Journal of Visual Impairment*, 33(3), 212–219. doi:10.1177/0264619615591865
- Bélangier, J., Frangieh, B., Graziani, E., Mérini, C., & Thomazet, S. (2018). L'agir ensemble en contexte d'école inclusive : qu'en dit la littérature scientifique récente ? *Revue Des Sciences de l'éducation*, 44(1), 138–165. doi :10.7202/1054160ar

- Benoit, H., & Sagot, J. (2008). L'apport des aides techniques à la scolarisation des élèves handicapés. *La Nouvelle Revue de l'adaptation et de La Scolarisation*, 43, 19–26.
- Bris, M. (2016). L'utilisation des documents graphiques. *Enseigner à des élèves aveugles ou malvoyants*, 155–167.
- Brock, A., Oriola, B., Griet, C., & Jouffrais, C. (2015). Les cartes tactiles interactives pour améliorer l'accessibilité des données spatiales pour les déficients visuels. Octobre. <https://hal.inria.fr/hal-01220366>
- Brock, A., Oriola, B., Griet, C., & Jouffrais, C. (2015). *Les cartes tactiles interactives pour améliorer l'accessibilité des données spatiales pour les déficients visuels*. Recherche et Accessibilité.
- Brulé, E., Bailly, G., & Gentes, A. (2015). Identifier les besoins des enfants en situation de déficience visuelle : État de l'art et étude de terrain. *IHM 2015 - Actes de La 27eme Conference Francophone Sur l'Interaction Homme-Machine*, 2353. doi :10.1145/2820619.2820630
- Butcher, K. R. (2014). *The Multimedia Principle*. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 174–205). Cambridge University Press. doi :10.1017/CBO9781139547369.010
- Carrière, V. (2012). *Apprentissage médié par les TICE : le cas des étudiants déficients visuels*. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00718602>
- Castillan, L., Lemarié, J., & Mojahid, M. (2019). L'accessibilité des manuels scolaires numériques : l'exemple suédois, entre édition adaptée et édition inclusive. *La Nouvelle Revue - Éducation et Société Inclusives*, 87(3), 149. doi:10.3917/nresi.087.0149
- Cattaneo, Z., & Vecchi, T. (2011). *Blind Vision*. The MIT Press. doi:10.7551/mitpress/9780262015035.001.0001
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293–332. doi:10.1207/s1532690xci0804_2
- Chandler, P., & Sweller, J. (1992). The split-attention effect as a factor in the design of instruction. *British Journal of Educational Psychology*, 62, 233–246. doi:10.1111/j.2044-8279.1992.tb01017.x
- Chang, C.-Y., Tijus, C., & Zibetti, E. (2015). Les apprentissages à l'heure des technologies cognitives numériques. *Administration & Éducation*, 146(2), 91. doi:10.3917/admed.146.0091

- Chunawala, S., Vinisha, K., & Patel, A. (2009). *Gender, science and schooling: Illustrations in science textbooks and students' and teachers' ideas related to gender*. Mumbai: Homi Bhabha Center of Science Education.
- Cinquin, P. A., Guitton, P., & Sauzéon, H. (2019). Online e-learning and cognitive disabilities: A systematic review. *Computers and Education*, *130*, 152–167. doi:10.1016/j.compedu.2018.12.004
- Cinquin, P. A., Guitton, P., & Sauzéon, H. (2020). Designing accessible MOOCs to expand educational opportunities for persons with cognitive impairments. *Behaviour and Information Technology*, *0*(0), 1–19. doi:10.1080/0144929X.2020.1742381
- Collignon, O., & De Volder, A. G. (2009). Further evidence that congenitally blind participants react faster to auditory and tactile spatial targets. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *63*(4), 287–293. doi:10.1037/a0015415
- Colliot, T. (2018) Effet des activités de génération sur l'apprentissage des étudiants dans des environnements multimédias interactifs. Thèse de doctorat. Université Rennes 2, France. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01948688>
- Colliot, T., & Jamet, É. (2018). Does self-generating a graphic organizer while reading improve students' learning? *Computers and Education*, *126*, 13–22. doi:10.1016/j.compedu.2018.06.028
- Corn, A. L., Bell, J. K., Andersen, E., Bachofer, C., Jose, R. T., & Perez, A. M. (2003). providing access to the visual environment: a model of low vision services for children. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, *97*(5), 261–272. doi:10.1177/0145482X0309700502
- Coyne, K. P., & Nielsen, J. (2001). *How to conduct usability evaluations for accessibility: Methodology guidelines for testing websites and intranets with users who use assistive technology*. Nielsen Norman Group.
- Craven, J., & Brophy, P. (2003). Non-Visual Access to the digital library (NoVA): the use of the digital library interfaces. *New Library World*, *104*(7/8), 321–322. doi:10.1108/03074800310488095
- DaCosta, B., & Seok, S. (2010). *Managing cognitive load in the design of assistive technology for those with learning disabilities*. In Handbook of Research on Human Cognition and Assistive Technology (pp. 21–42). IGI Global. doi :10.4018/978-1-61520-817-3.ch002
- Daniellou, F., & Béguin, P. (2004). *Méthodologie de l'action ergonomique : approches du travail réel*. In Ergonomie (p. 333). Presses Universitaires de France. doi:10.3917/puf.falzo.2004.01.0333

- de Verdier, K. (2016). Inclusion in and out of the classroom: A longitudinal study of students with visual impairments in inclusive education. *British Journal of Visual Impairment*, 34(2), 132–142. doi: 10.1177/0264619615625428
- de Verdier, K., & Ek, U. (2014). A longitudinal study of reading development, academic achievement, and support in Swedish inclusive education for students with blindness or severe visual impairment. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 108(6), 461. doi:10.1177/0145482x1410800603
- Delaubier, J-P., Braun, G., Favey, É., Perez, M., Poncelet, Y., Rehel, C., & Richet, B. (2015). L'utilisation pédagogique des dotations en numérique (équipements et ressources) dans les écoles. *Rapport n°2015-070, juillet 2015*. Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.
- Dietrich, S., Hertrich, I., & Ackermann, H. (2013). Ultra-fast speech comprehension in blind subjects engages primary visual cortex, fusiform gyrus, and pulvinar - a functional magnetic resonance imaging (fMRI) study. *BMC Neuroscience*, 14(1), 74. doi:10.1186/1471-2202-14-74
- Douglas, G., McCall, S., McLinden, M., Pavey, S., Ware, J., & Farrell, A. M. (2009). *International review of the literature of evidence of best practice models and outcomes in the education of blind and visually impaired children*. County Meath, Ireland: National Council for Special Education.
- Douglas, G., McLinden, M., Farrell, A. M., Ware, J., McCall, S., & Pavey, S. (2011). Access to print literacy for children and young people with visual impairment: Implications for policy and practice. *European Journal of Special Needs Education*, 26(1), 39–46. doi:10.1080/08856257.2011.543544
- Ébersold, S. (2012). Le champ du handicap, ses enjeux et ses mutations : du désavantage à la participation sociale. *Análise Psicológica*, 20(3), 281–290. doi :10.14417/ap.313
- Ébersold, S. (2015). Inclusif. Vous avez dit inclusif ? L'exemple du handicap. *Vie Sociale*, 11(3), 57. doi :10.3917/vsoc.153.0057
- Evans, S., & Douglas, G. (2008). E-learning and blindness: A comparative study of the quality of an E-learning experience. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 102(2), 77–88. doi:10.1177/0145482x0810200203
- Evans, S., & Shutterland, A. (2003). Virtual Learning Environment User Testing Project.
- Fage, C., Consel, C., Etchegoyhen, K., Amestoy, A., Bouvard, M., Mazon, C., & Sauzéon, H. (2019). An emotion regulation app for school inclusion of children with ASD: Design

- principles and evaluation. *Computers and Education*, 131, 1–21. doi:10.1016/j.compedu.2018.12.003
- Fage, C., Consel, C. Y., Balland, E., Etchegoyhen, K., Amestoy, A., Bouvard, M., & Sauzéon, H. (2018). Tablet apps to support first school inclusion of children with autism spectrum disorders (ASD) in mainstream classrooms: A pilot study. *Frontiers in Psychology*, 9, 1–16. doi :10.3389/fpsyg.2018.02020
- Folcher, V., & Lompré, N. (2012). Accessibilité pour et dans l’usage : concevoir des situations d’activité adaptées à tous et à chacun. *Le Travail Humain*, 75(1), 89. doi :10.3917/th.751.0089
- Fougeyrollas, P. (2016). Influence d’une conception sociale, interactionniste et situationnelle du handicap au sein d’un mécanisme de suivi de la mise en œuvre du droit à l’égalité : le modèle québécois. *Revue Française Des Affaires Sociales*, 1(4), 51. doi :10.3917/rfas.164.0051
- Gaborit, M., & Lewi-Dumont, N. (2020). *Les besoins prioritaires des acteurs de la scolarisation des élèves déficients visuels dans le second degré : la question des outils numériques*. In Notion d’aide en éducation (pp. 59–83). ISTE Editions.
- Galiano, A. R., Poussin, M., & Conceic, S. B. (2018). L ’ examen psychologique dans le handicap visuel : intérêts et limites méthodologiques. *Psychologie Française*, 63(3), 249–268. doi:/10.1016/j.psfr.2017.04.004
- Gentaz, É. (2009). *La main, le cerveau et le toucher : Approche neurocognitive du sens haptique*. Dunod.
- Gérard, F.-M., & Roegiers, X. (2009). *Des manuels scolaires pour apprendre : Concevoir, évaluer, utiliser*. Deboeck supérieur.
- Ginns, P. (2006). Integrating information: A meta-analysis of the spatial contiguity and temporal contiguity effects. *Learning and Instruction*, 16(6), 511–525. doi:10.1016/j.learninstruc.2006.10.001
- Giraud, S. (2014). *L’accessibilité des interfaces informatiques riches pour les déficients visuels*. Thèse de doctorat. Université de Nice Sophia Antipolis, Nice.
- Giraud, S., Brock, A. M., Macé, M. J. M., & Jouffrais, C. (2017). Map learning with a 3D printed interactive small-scale model: Improvement of space and text memorization in visually impaired students. *Frontiers in Psychology*, 8, 1–10. doi:10.3389/fpsyg.2017.00930

- Giraud, S., Colombi, T., Russo, A., & Thérouanne, P. (2011). Accessibility of rich internet applications for blind people: A study to identify the main problems and solutions. *ACM International Conference Proceeding Series*, 163–166. doi:10.1145/2037296.2037335
- Giraud, S., Thérouanne, P., & Steiner, D. D. (2018). Web accessibility: Filtering redundant and irrelevant information improves website usability for blind users. *International Journal of Human Computer Studies*, 111, 23–35. doi:10.1016/j.ijhcs.2017.10.011
- Greer, D. L., Crutchfield, S. A., & Woods, K. L. (2013). Cognitive Theory of Multimedia Learning, Instructional Design Principles, and Students with Learning Disabilities in Computer-based and Online Learning Environments. *Journal of Education*, 193(2), 41–50. doi:10.1177/002205741319300205
- Hatwell, Y. (2003). *Psychologie cognitive de la cécité précoce*. Dunod.
- Hatwell, Y., Streri, A., & Gentaz, E. (Eds.). (2003). *Touching for Knowing*. Advances in Consciousness Research. doi:10.1075/aicr.53
- Hertrich, I., Dietrich, S., Moos, A., Trouvain, J., & Ackermann, H. (2009). Enhanced speech perception capabilities in a blind listener are associated with activation of fusiform gyrus and primary visual cortex. *Neurocase*, 15(2), 163–170. doi:10.1080/13554790802709054
- Hewett, R., Torgerson, C., & Douglas, G. (2014). Accessibility of Apple iPad for partially sighted users: pilot study. *Journal of Assistive Technologies*, 8(1), 2–13. doi:10.1108/JAT-09-2013-0029
- Howell, J. (2008). Accessibility advice and guidance. *Web accessibility: Practical advice for the library and information professional*, 57-72. doi:10.29085/9781856047821.005
- Iwarsson, S., & Ståhl, A. (2003). Accessibility, usability and universal design—positioning and definition of concepts describing person-environment relationships. *Disability and Rehabilitation*, 25(2), 57–66. doi:10.1080/dre.25.2.57.66
- Jamet, E., & Erhel, S. (2006). Les effets de l'intégration spatiale de fenêtres ponctuelles sur la compréhension de documents illustrés. *Psychologie Française*, 51(1), 73–86. doi:10.1016/j.psfr.2005.12.005
- Kalyuga, S. (2009). *Cognitive load factors in the instructional design for advanced learners*. Nova Science Publisher.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 25, 351–371. doi:10.1002/acp.1773

- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (2011). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 25, 123–144. doi:10.1002/acp.1773
- Kalyuga, S., & Singh, A. M. (2016). Rethinking the Boundaries of Cognitive Load Theory in Complex Learning. *Educational Psychology Review*, 28(4), 831–852. doi:10.1007/s10648-015-9352-0
- Kalyuga, S., & Sweller, J. (2014). *The Redundancy Principle in Multimedia Learning*. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 247–262). Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139547369.013
- Kelly, B., & Swift, E. (2004). Developing a Holistic Approach for E-Learning Accessibility. *Canadian Journal of Learning and Technology*, 30(3), 1–8.
- Ketterlin-Geller, L. R., & Tindal, G. (2007). Embedded Technology: Current and Future Practices for Increasing Accessibility for All Students. *Journal of Special Education Technology*, 22(4), 1–15. doi:10.1177/016264340702200401
- Kinoe, Y., & Noguchi, A. (2014). Qualitative study for the design of assistive technologies for improving quality of life of visually impaired. *Human Interface and the Management of Information. Information and Knowledge in Applications and Services*, 602–613. doi:10.1007/978-3-319-07863-2_57
- Kinoe, Y., Ojima, C., & Sakurai, Y. (2013). Qualitative study for designing peripheral communication between hospitalized children and their family members. *Lecture Notes in Computer Science*, 275–284. doi:10.1007/978-3-642-39215-3_33
- Lazar, J. (2012). Investigating the accessibility and usability of job application web sites for blind users. *Investigating the Accessibility and Usability of Job Application Web Sites for Blind Users*, 7(2), 68–87.
- Lazar, J., Goldstein, D., & Taylor, A. (2015). The history of access technology. *Ensuring Digital Accessibility Through Process and Policy*, 21–40. doi:10.1016/b978-0-12-800646-7.00002-2
- Leahy, W., & Sweller, J. (2011). Cognitive load theory, modality of presentation and the transient information effect. *Applied Cognitive Psychology*, 25(6), 943–951. doi:10.1002/acp.1787
- Lee, Y., & Lee, J. (2019). A checklist for assessing blind users' usability of educational smartphone applications. *Universal Access in the Information Society*, 18(2), 343–360. doi:10.1007/s10209-017-0585-1

- Lee, Y., Kozar, K. A., & Larsen, K. R. T. (2003). The Technology Acceptance Model: Past, Present, and Future. *Communications of the Association for Information Systems, 12*(1), 50. doi:10.17705/1cais.01250
- Lemarié, J., Castillan, L., & Eyrolle, H. (2017). Effects of expertise and multimedia presentation on the enactment and recall of procedural instructions. *Psychologie Française, 62*(4), 351–359. doi :10.1016/j.psfr.2016.07.002
- Lemarié, J., Lorch, R. F., Eyrolle, H., & Virbel, J. (2008). SARA: A Text-Based and Reader-Based Theory of Signaling. *Educational Psychologist, 43*(1), 27–48. doi:10.1080/00461520701756321
- Leporini, B., & Paternò, F. (2008). Applying web usability criteria for vision-impaired users: Does it really improve task performance? *International Journal of Human-Computer Interaction, 24* (1), 17-47. doi:10.1080/10447310701771472
- Lewi-Dumont, N. (2016). *Enseigner à des élèves aveugles ou malvoyants*. Canopé.
- Lorch, R. F., Lemarié, J., & Chen, H.-T. (2013). Signaling topic structure via headings or preview sentences. *Psicología Educativa, 19*(2), 59–66. doi:10.1016/S1135-755X(13)70011-3
- Low, R., & Sweller, J. (2014). *The modality principle in multimedia learning*. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 147–158). Cambridge University Press. doi:10.1017/cbo9780511816819.010
- Maćkowski, M., Brzoza, P., Żabka, M., & Spinczyk, D. (2018). Multimedia platform for mathematics' interactive learning accessible to blind people. *Multimedia Tools and Applications, 77*(5), 6191–6208. doi:10.1007/s11042-017-4526-z
- Malti, I. (2018). *Ergonomie cognitive des manuels scolaires numériques*. Thèse de doctorat. Université Toulouse Jean Jaurès, Toulouse
- Mardis, M., Everhart, N., Smith, D., Newsum, J., & Baker, S. (2010). From Paper to Pixel: Digital Textbooks and Florida's Schools.
- Mason, H. L. (1999). Blurred vision: A study of the use of low vision aids by visually impaired secondary school pupils. *British Journal of Visual Impairment, 17*(3), 94–97. doi:10.1177/026461969901700303
- Mayer, R. (2014a). Spatial Contiguity Principle. In R. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 135–152). Cambridge University Press. doi:10.1017/cbo9780511811678.010
- Mayer, R. (2014b). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (R. Mayer (ed.)). Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139547369

- Mayer, (2014c). *Cognitive Theory of Multimedia Learning*. In R. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 43–71). Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139547369.005
- Mayer, R. E., & Fiorella, L. (2014). *Principles for reducing extraneous processing in multimedia learning: Coherence, signaling, redundancy, spatial contiguity, and temporal contiguity principles*. In R. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 279–315). Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139547369.015
- McLinden, M., Douglas, G., Cobb, R., Hewett, R., & Ravenscroft, J. (2016). ‘Access to learning’ and ‘learning to access’: Analysing the distinctive role of specialist teachers of children and young people with vision impairments in facilitating curriculum access through an ecological systems theory. *British Journal of Visual Impairment*, 34(2), 177–195. doi:10.1177/0264619616643180
- McNiel, D. (1992). *Hand and mind. What gesture reveal about thought*. The University of Chicago Press.
- Mercier, C., Guffroy, M., Lefer-Sauvage, G., & Lopez-Cazaux, S. (2018). Effet d’un agenda numérique sur le développement des compétences socio-cognitives chez des personnes avec autisme. *Usages du numérique et situation d’autonomie réduite*, e-311. doi:10.3917/enf2.181.0147
- Ministère de l’Éducation et de l’enseignement. (2019a). *Cadre de référence de la compétence numérique*.
- Ministère de l’Éducation et de l’enseignement. (2019b). *Guide pédagogique*.
- Morley, S., Petrie, H., O’Neill, A.-M., & McNally, P. (1998). Auditory navigation in hyperspace. *Proceedings of the Third International ACM Conference on Assistive Technologies*, 100–107. doi:10.1145/274497.274516
- Mousavi, S. Y., Low, R., & Sweller, J. (1995). Reducing cognitive load by mixing auditory and visual presentation modes. *Journal of Educational Psychology*, 87(2), 319–334. doi:10.1037/0022-0663.87.2.319
- Mulet, J., Dimotrov, L., Ducasse, J., Macé, M., Raynal, M., Oriola, B., Lemarié, J., Tartas, V., & Jouffrais, C. (2020). Evaluation d’un dispositif audio-tangible pour l’apprentissage spatial chez les enfants déficients visuels. *Handicap 2020*.
- Murphy, E., Kuber, R., McAllister, G., Strain, P., & Yu, W. (2008). An empirical investigation into the difficulties experienced by visually impaired Internet users. *Universal Access in the Information Society*, 7(1–2), 79–91. doi:10.1007/s10209-007-0098-4

- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. Elsevier. doi:10.1016/C2009-0-21512-1
- Nikitopoulos, C. (2017). *Les illustrations interactives dans le manuel scolaire numérique en France : Usages et impacts sur l'appropriation*. Thèse de doctorat. Université Michel de Montaigne, Bordeaux. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01743735>
- Nogier, J.-F., Bouillot, T., & Leclerc, J. (2013). *Ergonomie des interfaces : Guide pratique pour la conception des applications web, logicielles, mobiles et tactiles*. Dunod.
- Paas, F., & van Gog, T. (2006). Optimising worked example instruction: Different ways to increase germane cognitive load. *Learning and Instruction*, 16(2), 87–91. doi:10.1016/j.learninstruc.2006.02.004
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: a dual-coding approach*. Oxford University Press.
- Papadopoulos, K. S., & Goudiras, D. B. (2005). Accessibility assistance for visually-impaired people in digital texts. *British Journal of Visual Impairment*, 23(2), 75–83. doi:10.1177/0264619605054779
- Petrie, H., & Bevan, N. (2009). *The evaluation of accessibility, usability, and user experience*. The Universal Access Handbook. doi:10.1201/9781420064995-c20
- Petrie, H., Hamilton, F., & King, N. (2004). Tension, what tension? Website accessibility and visual design. *Proceedings of the International Cross-Disciplinary Workshop on Web Accessibility 2004, W4A at the World Wide Web Conference*, 13–18.
- Plass, J. L., Moreno, R., & Brünken, R. (Eds.) (2010). *Cognitive Load Theory*. Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511844744
- Power, C., Freire, A., Petrie, H., & Swallow, D. (2012). Guidelines are only half of the story. *Proceedings of the 2012 ACM Annual Conference on Human Factors in Computing Systems*, 433. doi:10.1145/2207676.2207736
- Richter, J., Scheiter, K., & Eitel, A. (2016). Signaling text-picture relations in multimedia learning: A comprehensive meta-analysis. *Educational Research Review*, 17, 19–36. doi:10.1016/j.edurev.2015.12.003
- Roy, M., & Chi, M. T. H. (2005). *The self-explanation principle in multimedia learning*. In *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 271–286). Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511816819.018
- Scheiter, K., & Eitel, A. (2015). Signals foster multimedia learning by supporting integration of highlighted text and diagram elements. *Learning and Instruction*, 36, 11–26. doi:10.1016/j.learninstruc.2014.11.002

- Schneider, S., Beege, M., Nebel, S., & Rey, G. D. (2018). A meta-analysis of how signaling affects learning with media. *Educational Research Review*, 23, 1-24. doi:10.1016/j.edurev.2017.11.001
- Shakespeare, T., & Watson, N. (2001). The social model of disability: An outdated ideology. *Research in social science and disability*, 2(1), 9-28. doi:10.1016/S1479-3547(01)80018-X
- Sheeran, P., & Webb, T. L. (2016). The Intention-Behavior Gap. *Social and Personality Psychology Compass*, 10(9), 503–518. doi:10.1111/spc3.12265
- Shinohara, K., & Wobbrock, J. O. (2011). In the shadow of misperception. *Proceedings of the 2011 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems*, 705. doi:10.1145/1978942.1979044
- Singh, A. M., Marcus, N., & Ayres, P. (2012). The transient information effect: Investigating the impact of segmentation on spoken and written text. *Applied Cognitive Psychology*, 26(6), 848–853. doi:10.1002/acp.2885
- Sorin, L. (2015). *Contributions des architectures textuelles à l'accessibilité non-visuelle des documents numériques*. Thèse de doctorat. Université Toulouse Jean Jaurés, Toulouse. <http://oatao.univ-toulouse.fr/9278/>
- Sperandio, J. C., & Uzan, G. (2002). Ergonomie des aides techniques informatiques pour personnes handicapées. *Handicap, revue de sciences humaines et sociales*, 479. doi:10.3917/puf.falzo.2004.01.0479
- Sperandio, J.-C., Uzan, G., & Jobard, N. (2002). Difficultés rencontrées par les aveugles et déficients visuels pour la consultation de site WEB sur transports et le tourisme. *Paris : Institut Pour La Ville En Mouvement*.
- Still, L. (2018). *Etude rétrospective des signes précoces des troubles du spectre de l'autisme chez les très jeunes enfants déficients visuels*. Thèse de doctorat. Université de Lyon, Lyon. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01874681>
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). The Worked Example and Problem Completion Effects. *Cognitive Load Theory*, 99–109. doi:10.1007/978-1-4419-8126-4_8
- Theofanos, M. F., & Redish, J. (Ginny). (2003). Bridging the gap. *Interactions*, 10(6), 36–51. doi:10.1145/947226.947227
- Tremblay, P. (2015). Inclusion scolaire et transformation des dispositifs de scolarisation des élèves à besoins spécifique. *La Nouvelle Revue de l'adaptation et de La Scolarisation*, 70–71.
- Tricot, A. (2007). *Apprentissages et documents numériques*. Belin.

- Tricot, A. (2018). *Apprendre avec le numérique : quels apports pour les élèves à besoins éducatif spécifiques ?* FNAME.
- Tricot, A., Vandenbroucke, G., & Sweller, J. (2020). Using cognitive load theory to improve text comprehension for students with dyslexia. *Handbook of Educational Psychology and Students with Special Needs*, 339–362. doi:10.4324/9781315100654-17
- Vadas, K., Patel, N., Lyons, K., Starner, T., & Jacko, J. (2006). Reading on-the-go. *Proceedings of the 8th Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, 219. doi:10.1145/1152215.1152262
- Van Gog, T. (2014). *The Signaling (or Cueing) Principle in Multimedia Learning*. In R. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 263–278). Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139547369.014
- Vanderheiden, G. C. & Jordan, J.B. (2006). Design for People with Functional Limitations. *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, 1385–1417. doi:10.1002/0470048204.ch53
- Vanlierde, A., & Wanet-Defalque, M.-C. (2005). The Role of Visual Experience in Mental Imagery. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 99(3), 165-178. doi:10.1177/0145482X0509900305
- Wong, M. E., & Cohen, L. (2011). School, family and other influences on assistive technology use. *British Journal of Visual Impairment*, 29(2), 130–144. doi:10.1177/0264619611402759
- Woods, P. (1980). Comment mesurer les conséquences de la maladie. *Chronique OMS*, 34, 400–405.

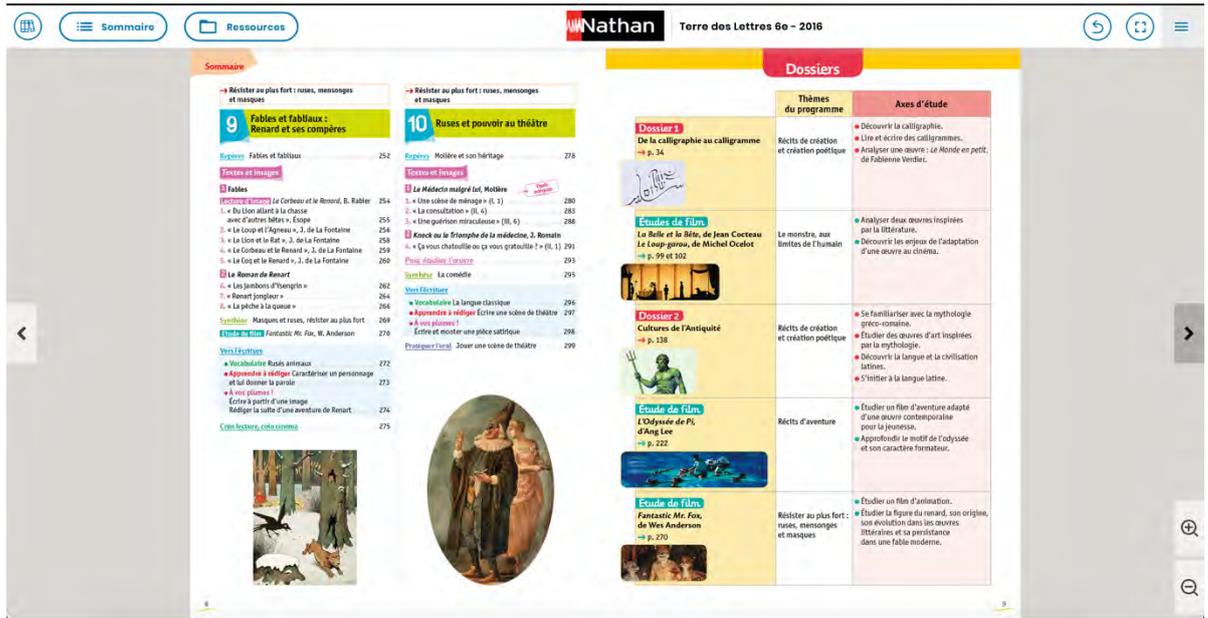


Figure 36. Corpus de l'inspection ergonomique, sommaire (3/3).

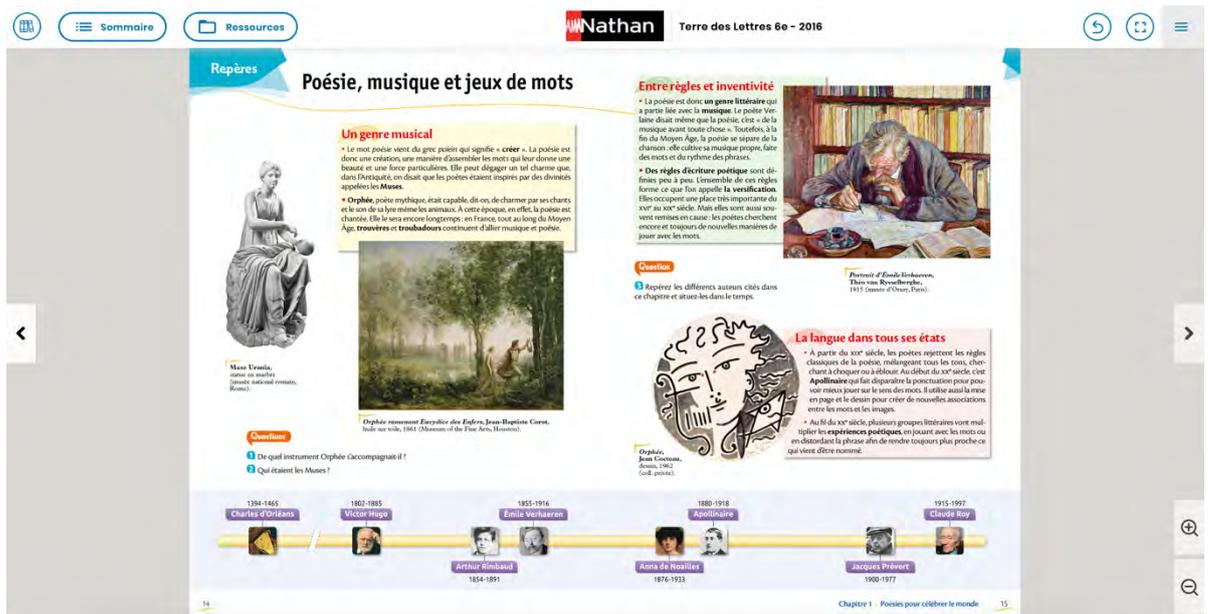


Figure 37. Corpus de l'inspection ergonomique, page 14-15.

Nathan **Terre des Lettres 6e - 2016**

Sommaire
Ressources

Texte 1



Victor Hugo
(1802-1885)
C'est au milieu du dix-neuvième siècle que se situe l'apogée de la littérature française. Son œuvre est vaste, rassemble des genres (du roman à la poésie) et le Conséquent est de donner de théâtre (le drame).

La bise fait le bruit...

La bise fait le bruit d'un géant qui soupire ;
La fenêtre palpite et la porte respire ;
Le vent d'hiver glapit¹ sous les tuiles du toit ;
Le feu fait à mon lit² une pâle docteur ;

Le trou de ma serrure
Me souffle sur les doigts.

— Victor Hugo, *Dernière Gaspé*, 1902 (posthume).

1. Glapit : hurle comme un renard.
2. Aise : tour de la chemise.
3. Gerbe : ensemble de choses semblables réunies, dont la forme évoque un juchement.

Lecture

Pour bien lire

1. Quels détails vous permettent d'identifier ce texte comme un poème ?
2. a. Combien comptez-vous de strophes ? et de vers ?
b. Quels sont les mots qui riment ?
3. a. Comptez le nombre de syllabes dans chaque vers.
b. Dans quels cas faut-il prononcer les rimes à la fin des vers ?
4. Que décrit Victor Hugo dans ce poème ?

Pour approfondir

1. Relisez le poème à voix haute.
a. Quelle nouvelle est née dans la première strophe ?
b. Quel bruit le poème cherche-t-il à imiter ?
2. Notez tous les éléments qui donnent l'impression que cette maison est vivante.
3. Quelle impression se dégage de cette maison ? Avez-vous envie d'y vivre ? Pourquoi ?

Vocabulaire

1. Cherchez dans le poème les mots qui correspondent aux définitions suivantes :
- *glapir* - *butte* - *trés jol* - *chemise* - *hauler* comme un animal.
2. Complétez les phrases suivantes avec chacun de ces mots.
1. La bise *crie* dans l'...
2. La fourmi se trouva forte dépourvue quand la... lui vint...
3. La pauvre bête se cacha dans le fourmi et... de douleur je sentis alors sortir...
4. ...

Texte 2



Emile Verhaeren
(1875-1916)
La poésie de ce poète s'inscrit dans le mouvement de la poésie de la ville. Il est connu pour ses poèmes de la ville et de la vie.

Le vent

Sur la bruyère longue infiniment,
Voici le vent cornant¹ Novembre,
Sur la bruyère, infiniment,
Voici le vent.
Qui se déchire et se dément,
En souffles lourds, battant² les bourgs ;
Voici le vent,
Le vent sauvage de Novembre.
Aux puits des fermes,
Les saeux de fer et les poulies³
Grincant ;
Aux étables des fermes,
Les saeux et les poulies
Grincant et criant
Toute la nuit, dans leurs mélancolies.

[...]
Sur la bruyère, infiniment,
Voici le vent hurlant,
Voici le vent cornant Novembre.

— Emile Verhaeren, *Les Villes illusoires*, 1905.



Egér de vent (Aristide),
Claude Monet,
1891 (musée d'Orsay,
Paris).

Lecture

Pour bien lire

1. Où et quand situez-vous la scène décrite dans le poème ?
2. Quels sont les mots qui évoquent du bruit ?
3. Le paysage décrit vous semble-t-il triste ou gai ? Justifiez votre réponse.

Pour approfondir

1. Relevez les répétitions, quelle est l'impression créée ?
2. Quelles alliterations (répétitions d'une même consonne) présentes dans le poème nous font entendre le bruit du vent ?
3. Relevez tous les mots qui évoquent la souffrance. L'ensemble de ces mots constitue un champ lexical.
4. Relevez les mots qui personnifient le vent. Quelle est leur nature ? Quels autres objets sont personnifiés ?

Écriture

À votre tour, décidez, dans un court poème, le vent soufflant sur la mer par temps de tempête.
- Employez la répétition, créez des effets sonores.
- Cherchez à personnifier le vent en employant quelques-uns des verbes suivants : *couler*, *gronder*, *hauler*, *hurler*, *gémir*.
Pour préparer ce travail, faites les exercices de vocabulaire 7, 8 et 9 p. 30.

Figure 38. Corpus de l'inspection ergonomique, page 15-16.

Annexe 2 - Évaluation de la conformité aux critères de Bastien et Scapin.

Tableau 31. Heuristique de Bastien et Scapin (1993). Notre traduction.

Heuristiques de Bastien et Scapin (1993)	Critère Validé (X)	Exemples de problèmes rencontrés
1. Guidage		
1.1 Incitation	-	Une fois le zoom actif, plus aucune information n'est disponible concernant la localisation spatiale
1.2 Groupement/distinction des items		
1.2.1. par la localisation	-	Aucune distinction des items par localisation
1.2.2. par le format	X	Le code typographique est constant mais trop conséquent
1.3 Feedback immédiat	X	Le système est réactif
1.4 Lisibilité	-	Manque de clarté
2. Charge de travail		
2.1 Brièveté		
2.1.1 concision	X	Les sous tâches sont simples à réaliser
2.1.2 action minimale	-	La navigation entre les questions et le texte agrandi nécessite 2 actions alors qu'une seule serait possible. Idem lors de l'usage de la trousse.
2.2. Densité informationnelle	-	Aucun tri d'information n'est réalisé. La double page présente de nombreuses informations non pertinentes pour la réalisation de la tâche.
3. Contrôle explicite		
3.1 Actions explicites	X	Le système exécute seulement les actions demandées par l'utilisateur
3.2 Contrôle utilisateur	X	Les erreurs peuvent être annulées par l'utilisateur mais l'action à réaliser n'est pas suffisamment explicite.
2. Adaptabilité		
4.1 Flexibilité	-	Il est possible de configurer partiellement l'outil (p. ex. taille d'affichage)
4.2 Prises en compte de l'expérience de l'utilisateur	X	Une aide est disponible
4. Gestion des erreurs		
5.1 Protection contre les erreurs	-	Aucun message de confirmation n'apparaît
5.2 Qualités des messages d'erreur	X	Messages des erreurs (p. ex. non enregistrement des données)
5.3 Correction des erreurs	X	Possibilité de corriger les erreurs
5. Homogénéité / cohérence	-	Le livre est homogène
6. Signifiante des codes et dénominations	-	Signifiante des codes peu claires et nombre de codes trop conséquent
7. Compatibilité	-	Outil incompatible avec les logiciels d'assistances (testé avec Zoomtext, la loupe Windows et NVDA).

Annexe 3 - Évaluation de la conformité aux A2RNE

Tableau 32. Niveaux et critères A2RNE pour la catégorie contenu texte. Extrait de <https://eduscol.education.fr/cid89501/accessibilite-et-adaptabilite-des-ressources-numeriques-pour-lecole.html>

Contenu texte				
Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 5
<p>Niveau ergonomique et graphisme insuffisant</p>	<p>Adapté pour utilisateurs ordinaires</p> <p>BP 1-2 Utiliser les fonctions de traitement de texte pour les listes d'éléments (item marqué par une puce ou une numérotation)</p> <p>BP 1-3 Utiliser les fonctions de traitement de textes pour les notes en bas de page.</p> <p>BP 1-4 Expliciter les abréviations. Gérer les citations.</p> <p>BP 2-2 Utiliser des feuilles de styles pour contrôler la présentation de l'information.</p> <p>BP 2-6 Signaler les mots ou groupes de mots écrits dans une langue autre que le français.</p>	<p>Adapté pour utilisateurs ne nécessitant pas de ressource d'alternative</p> <p>BP 1-1 Structurer le texte selon une hiérarchie cohérente de titres. Utiliser les styles de paragraphe du traitement de texte.</p> <p>BP 1-5 Limiter le nombre de polices de caractères par page, par ressource numérique.</p> <p>BP 2-1 Avoir ou permettre une mise en page conforme à l'accessibilité (interligne suffisant, espacement adapté, taille des caractères en valeur relative).</p> <p>BP 2-3 Utiliser des polices de caractères sans-sérial (sans empattement).</p>	<p>Adapté pour utilisateurs nécessitant des adaptations et alternatives</p> <p>BP 2-4 Éviter de fournir du texte sous forme d'image (capture d'écran par exemple) seulement.</p> <p>BP 2-5 Accentuer les majuscules.</p> <p>BP 7-1 Donner des intitulés de lien explicites, grâce à des informations de contexte notamment.</p>	<p>Nativement orienté accessibilité</p> <p>BP 15-1 Vérifier l'effet d'agrandissement des tailles de caractère sur la lisibilité.</p> <p>BP 15-2 S'assurer que les liens sont correctement identifiables et explicites hors contexte.</p> <p>BP 15-3 Dans chaque page web, la première occurrence de chaque abréviation doit permettre de comprendre le sens de la page.</p> <p>BP 15-4 Permettre le contrôle par l'utilisateur des couleurs des polices et du fond.</p> <p>BP 15-5 S'assurer que les expressions inhabituelles et le jargon sont explicités.</p> <p>BP 15-6 Vérifier que l'interlignage est suffisant et donner la possibilité à l'utilisateur de contrôler la justification des textes.</p>

Tableau 33. Niveaux et critères A2RNE pour la catégorie images, vidéos et multimédias. Extrait de <https://eduscol.education.fr/cid89501/accessibilite-et-adaptabilite-des-ressources-numeriques-pour-lecole.html>

Images, vidéos et multimédias				
Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 5
Niveau ergonomique et graphisme insuffisant	Adapté pour utilisateurs ordinaires	Adapté pour utilisateurs ne nécessitant pas de ressource d'alternative	Adapté pour utilisateurs nécessitant des adaptations et alternatives	Nativement orienté accessibilité
	<p>BP 3-1 Fournir, pour chaque image porteuse de sens (i.e. non décorative), un texte court pour légende et un texte long en décrivant le contenu (que représente-elle selon l'intention pédagogique pour laquelle elle a été choisie ?).</p>	<p>BP 3-2 Utiliser le fichier source de l'image ou de l'objet graphique, dans son format original pour préserver toutes les possibilités d'Édition (pour les auteurs).</p> <p>BP 3-3 Dans un graphique ou un schéma, compléter par d'autres moyens que le code couleur les zones à distinguer ou à rapprocher : motifs, hachures, pointillés, épaisseur ou style de trait, style de flèche, etc.</p>	<p>BP 6-1 Donner si nécessaire à chaque média (audio, vidéo, animation flash, une carte interactive en flash, un diaporama, ...) une alternative textuelle pertinente ou une transcription textuelle.</p> <p>BP 6-2 Rendre possible le contrôle de la consultation de chaque média au clavier et s'assurer de leur compatibilité avec les technologies d'assistance (aides techniques comme NVDA ou plage braille).</p>	<p>BP 16-1 S'assurer que les éléments multimédias (vidéos, animations, présentations...) disposent d'une alternative textuelle pertinente, de sous-titres ou d'une audiodescription.</p> <p>BP 16-2 Chaque image texte porteuse d'information, en l'absence d'un mécanisme de remplacement, doit si possible être remplacée par du texte stylé.</p> <p>BP 16-3 Chaque média temporel préenregistré a, si nécessaire, une interprétation en langue des signes. Le volume sonore doit être suffisamment audible.</p>

Tableau 34. Niveaux et critères A2RNE pour la catégorie consultation et navigation. Extrait de <https://eduscol.education.fr/cid89501/accessibilite-et-adaptabilite-des-ressources-numeriques-pour-lecole.html>

Consultation et navigation				
Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 5
Niveau ergonomique et graphisme insuffisant	Adapté pour utilisateurs ordinaires	Adapté pour utilisateurs ne nécessitant pas de ressource d'alternative	Adapté pour utilisateurs nécessitant des adaptations et alternatives	Nativement orienté accessibilité
	<p>BP 5-2 Utiliser des contrastes de couleurs suffisamment élevés.</p> <p>BP 9-1 Faciliter la navigation dans un ensemble de pages. Pouvoir identifier la page courante.</p> <p>BP 10-2 Définir les pages Web et s'assurer de la conformité des informations de balisage et de fonctionnement.</p> <p>BP 11-1 Donner un titre pertinent à chaque cadre ou « fenêtre » en ligne ou page web.</p>	<p>BP 5-1 Ne pas donner l'information uniquement par couleur.</p> <p>BP 9-2 S'assurer que l'ordre de tabulation est cohérent. La tabulation clavier doit accéder à chaque élément recevant le focus (soit sur un lien soit sur un champ de saisie).</p> <p>BP 10-1 Permettre l'adaptabilité par la prise de contrôle possible des procédés de rafraichissement, des changements brusques de luminosité, des ouvertures de nouvelles fenêtres et des contenus en mouvement ou clignotant, des temps d'affichage.</p>	<p>BP 9-3 Faciliter la navigation dans un ensemble de pages par au moins deux systèmes de navigation différents (menu de navigation, plan du site ou moteur de recherche), un fil d'Ariane et l'indication de la page active dans le menu de navigation.</p> <p>BP 10-3 Proposer des versions accessibles ou rendre accessibles les documents en téléchargement.</p> <p>BP 10-4 S'assurer que les éléments cryptiques contenus dans une page web possèdent une alternative.</p>	<p>BP 17-1 Indiquer la page en cours de consultation dans le menu de navigation</p> <p>BP 17-2 Ne pas faire dépendre l'accomplissement d'une tâche d'une limite de temps sauf si elle est essentielle et s'assurer que les données saisies sont récupérées après une interruption de session authentifiée.</p> <p>BP 17-3 Indiquer le sens des mots qui ne peuvent être compris sans en connaître la prononciation. S'assurer de proposer une version alternative de textes d'un niveau de lecture plus avancé que le premier cycle de l'enseignement secondaire.</p>

Tableau 35. Niveaux et critères A2RNE pour la catégorie tableaux et formulaires. Extrait de <https://eduscol.education.fr/cid89501/accessibilite-et-adaptabilite-des-ressources-numeriques-pour-lecole.html>

Tableaux et formulaires				
Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 5
Niveau ergonomique et graphisme insuffisant	Adapté pour utilisateurs ordinaires	Adapté pour utilisateurs ne nécessitant pas de ressource d'alternative	Adapté pour utilisateurs nécessitant des adaptations et alternatives	Nativement orienté accessibilité
	<p>BP 17-3 Indiquer le sens des mots qui ne peuvent être compris sans en connaître la prononciation. S'assurer de proposer une version alternative de textes d'un niveau de lecture plus avancé que le premier cycle de l'enseignement secondaire.</p>	<p>BP 4-1 Proposer des tableaux de données aussi simples que possibles.</p> <p>BP 4-3 Rendre possible la colorisation d'une ligne ou une colonne sur deux en respectant un contraste suffisant.</p>	<p>BP 4-2 Définir les entêtes des colonnes et celles des lignes. L'intitulé de ces entêtes doit être concis mais précis, afin de s'assurer que le lecteur comprendra facilement le terme utilisé. Gérer les différences entre tableaux de mise en forme et tableaux de données.</p> <p>BP 4-4 Dans un tableau ne pas créer de tableau avec des régions (« area ») pour faciliter la lecture par un lecteur d'écran et améliorer le contraste des couleurs.</p> <p>BP 8-2 Vérifier la présence de contrôle à la saisie (signaler les champs obligatoires, indiquer les erreurs de saisie, donner le format de saisie), s'assurer que le contrôle de saisie est accessible.</p>	<p>BP 18-1 S'assurer que l'utilisateur peut contrôler les données à caractère financier, juridique ou personnel.</p> <p>BP 18-2 Les données d'un formulaire doivent pouvoir être modifiées, mises à jour ou récupérées par l'utilisateur. Vérifier que les aides à la saisie sont présentes et pertinentes.</p>

Tableau 36. Niveaux et critères A2RNE pour la catégorie code et gestion numériques des droits. Extrait de <https://eduscol.education.fr/cid89501/accessibilite-et-adaptabilite-des-ressources-numeriques-pour-lecole.html>

Code et gestion numériques des droits				
Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 5
Niveau ergonomique et graphisme insuffisant	Adapté pour utilisateurs ordinaires	Adapté pour utilisateurs ne nécessitant pas de ressource d'alternative	Adapté pour utilisateurs nécessitant des adaptations et alternatives	Nativement orienté accessibilité
	BP 13-1 Vérifier que chaque ressource respecte le codage de la ressource qu'elle déclare en utilisant un validateur (par exemple Validateur EPUB).	BP 14-1 S'assurer que la gestion numérique des droits ne vient pas masquer les fonctions d'accessibilités mises en place.	BP 12-1 Enrichir les fonctionnalités d'accessibilité du lecteur.	BP 19-1 Donner si nécessaire à chaque script une alternative pertinente. Rendre possible le contrôle de chaque code script au moins par le clavier et la souris et s'assurer de leur compatibilité avec les technologies d'assistance.

Annexe 4 - Questionnaire de l'enquête en ligne



Q2.

Enquête sur le Manuel scolaire numérique

Cette enquête a pour objectif de recueillir des informations concernant l'usage des manuels scolaires numériques par des élèves. Cette étude est menée dans le cadre du Projet Access-Man visant à améliorer l'accessibilité des manuels scolaires numériques pour les élèves présentant une déficience visuelle. Les investigateurs de cette recherche sont Laetitia Castillan, doctorante (CNRS CLLE-LTC, UMR5263), Julie Lemarié (CNRS CLLE-LTC, UMR5263) et Mustapha Mohajid, (IRIT-ELIPSE). Cette enquête est réalisée en partenariat avec le CTRDV de Villeurbanne. Votre interlocuteur principal pour cette étude est Laetitia Castillan (laetitia.castillan@univ-tlse2.fr)

Les données recueillies dans le cadre de cette étude sont strictement confidentielles et seront gardées dans un endroit sécurisé auquel seuls le responsable scientifique et les chercheurs adjoints auront accès. Conformément aux dispositions de la loi relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, votre enfant dispose à tout moment d'un droit d'accès et de rectification des données informatisées le concernant (loi n° 2004-801 du 6 août 2004 modifiant la loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés). Les données obtenues seront anonymes. Les résultats globaux de cette recherche, pouvant être mis à votre disposition sur simple demande (L. 1122-1 du Code de la Santé Publique, dernier alinéa) pourront être diffusés lors de colloques sous forme écrite et/ou orale ainsi qu'être publiés dans des actes de colloque et/ou articles de revues scientifiques.

La participation de votre enfant est entièrement volontaire et il peut se retirer pendant la durée de l'étude à tout moment sans justifications et sans encourir aucune pénalité.

Vous pouvez réaliser cette enquête avec votre enfant ou le laisser répondre aux questions seul. L'accessibilité de cette enquête a été testé.

Q3. J'accepte que mon enfant participe à cette étude :

- Oui
 Non

Q4. Le **Manuel scolaire numérique éditeur** est un manuel **dématérialisé** que l'on peut utiliser avec un ordinateur, une tablette ou un téléphone portable. En plus des textes et des images que l'on trouve dans le manuel papier, le manuel numérique peut proposer des documents sonores, des animations ou des vidéos. Attention, dans cette étude, le manuel scolaire en version Pdf fourni par les services d'adaptation n'est pas considéré comme un manuel numérique.

Q5. As-tu déjà utilisé ou utilises-tu un manuel scolaire numérique éditeur ?

- Oui
 Non

Q82. Qui a acheté ton manuel scolaire numérique éditeur ?

- Ta famille
 Ton établissement
 Le service d'intégration scolaire dont tu dépends
 Tu ne sais pas
 Autre (précise)

Q6. Avec quel(s) moyen(s) technique(s) utilises-tu ton manuel scolaire numérique éditeur ? (Plusieurs choix possibles)

- Ordinateur
- Tablette
- Smartphone
- Autre (précise)

Q7. Utilises-tu un ou plusieurs outil(s) d'assistance pour accéder à ton manuel scolaire numérique éditeur ?

- Aucun
- Logiciel d'agrandissement
- Synthèse vocale
- Plage braille
- Autre (précise)

Q8. Dans quelle(s) matière(s) as-tu un manuel numérique éditeur ? (plusieurs choix possibles)

- Français
- Mathématique
- Langues
- Sciences
- Histoire-géographie-instruction civique et morale
- Autre

Q9. De quelle maison d'édition est ton manuel de mathématiques ?

Cliquez sur l'un des boutons ci-dessous pour sélectionner une réponse.

Q10. De quelle maison d'édition est ton manuel de mathématique ?

- Belin
- Bordas
- Didier
- Hachette
- Hatier
- Le livre scolaire
- Magnard
- Nathan
- Retz
- Je ne sais pas
- Autre

Q11. De quelle maison d'édition est ton manuel de langues ?

- Belin
- Bordas
- Didier
- Hachette
- Hatier
- Le livre scolaire
- Magnard
-

- Nathan
- Retz
- Je ne sais pas
- Autre

Q12. De quelle maison d'édition est ton manuel de sciences ?

- Belin
- Bordas
- Didier
- Hachette
- Hatier
- Le livre scolaire
- Magnard
- Nathan
- Retz
- Je ne sais pas
- Autre

Q13. De quelle maison d'édition est ton manuel d'histoire-géographie-instruction civique ?

- Belin
- Bordas
- Didier
- Hachette
- Hatier
- Le livre scolaire
- Magnard
- Nathan
- Retz
- Je ne sais pas
- Autre

Q14. Comment utilises-tu ton manuel scolaire numérique éditeur ? (plusieurs réponses possibles)

- En collectif (en classe)
- En individuel en classe
- En petits groupes
- À la maison

Q15. À quelle fréquence utilises-tu ton manuel scolaire numérique éditeur en collectif en classe ?

Quelle fréquence ? (0 fois par semaine à toutes les semaines)

Q16. À quelle fréquence utilises-tu ton manuel scolaire numérique en individuel en classe ?

- Très souvent (plus de 3 fois par semaine)
- Souvent (1-3 fois par semaine)
- Occasionnellement (1 fois toutes les deux semaines)
- Rarement (1-3 fois par mois)

Q17. À quelle fréquence utilises-tu ton manuel scolaire numérique en petit groupe ?

- Très souvent (plus de 3 fois par semaine)
- Souvent (1-3 fois par semaine)
- Occasionnellement (1 fois toutes les deux semaines)
- Rarement (1-3 fois par mois)

Q18. À quelle fréquence utilises-tu ton manuel scolaire numérique à la maison ?

- Très souvent (plus de 3 fois par semaine)
- Souvent (1-3 fois par semaine)
- Occasionnellement (1 fois toutes les deux semaines)
- Rarement (1-3 fois par mois)

Quelles sont les ressources de ton manuel scolaire numérique éditeur que tu utilises ? (plusieurs réponses possibles) Q19.

- Texte
- Vidéo
- Séquence audio
- Illustration simple (ex: une image)
- Illustration interactive (carte/schéma avec lesquels on peut interagir)
- Exercice interactif
- Autre

Q20. À quelle fréquence utilises-tu les textes ?

- Très souvent (à chaque fois que j'utilise mon manuel scolaire)
- Souvent (1 fois sur 2)
- Occasionnellement (1 fois sur 5)
- Rarement (moins d'1 fois sur 5)

Q21. À quelle fréquence utilises-tu les vidéos ?

Cette question n'a pas été répondue au sondage.

Q22. À quelle fréquence utilises-tu les séquences audio ?

Cette question n'a pas été répondue au sondage.

Q23. À quelle fréquence utilises-tu les illustrations simples ?

- Très souvent (à chaque fois que j'utilise mon manuel scolaire)
- Souvent (1 fois sur 2)
- Occasionnellement (1 fois sur 5)
- Rarement (moins d'1 fois sur 5)

Q24. À quelle fréquence utilises-tu les illustrations interactives ?

Cette question n'a pas été répondue au sondage.

Q25. À quelle fréquence utilises-tu les exercices interactifs ?

Cette question n'a pas été répondue au sondage.

Q26. Souhaiterais-tu que ton manuel scolaire numérique éditeur propose d'autres ressources ?

- Oui
- Non

Q27. Commentaires :

Cette question n'a pas été répondue au moment de l'enquête.

Q28. Quelles sont les fonctionnalités du manuel scolaire numérique éditeur que tu utilises ?

- Zoom
- Recherche par mot clef
- Recherche par page
- Annotation textuelle
- Annotation sonore
- Autre

Q29. As quelle fréquence utilises-tu le zoom ?

- Très souvent (à chaque fois que j'utilise mon manuel scolaire)
- Souvent (1 fois sur 2)
- Occasionnellement (1 fois sur 5)
- Rarement (moins d'1 fois sur 5)

Q30. As quelle fréquence utilises-tu la recherche par page ?

- Très souvent (à chaque fois que j'utilise mon manuel scolaire)
- Souvent (1 fois sur 2)
- Occasionnellement (1 fois sur 5)
- Rarement (moins d'1 fois sur 5)

Q31. As quelle fréquence utilises-tu la recherche par mot clef ?

Cette question n'a pas été répondue au moment de l'enquête.

Q32. As quelle fréquence utilises-tu l'annotation textuelle ?

Cette question n'a pas été répondue au moment de l'enquête.

Q33. As quelle fréquence utilises-tu l'annotation sonore ?

Cette question n'a pas été répondue au moment de l'enquête.

Q83. Que penses-tu de ces fonctionnalités ? (Indique dans réponse dans le cadre)

- Zoom
- Recherche par mot clef
- Recherche par page
- Annotation textuelle
- Annotation sonore

Q34. Souhaiterais-tu que ton manuel scolaire numérique éditeur propose d'autres fonctionnalités ?

- Oui
- Non

Q35. L'expérience ?

Donne une note de 1 à 5 (1 est le moins satisfaisant et 5 le meilleur)

Q36. Quelles tâches réalises-tu à l'aide de ton manuel numérique éditeur ? (Numérote de la tâche que tu réalises le plus (1) à celle que tu réalises le moins (4)- Indique 0 lorsque tu ne réalises pas cette tâche).

- Suivre en classe
- Apprendre une leçon
- Faire un exercice
- Produire un document écrit (ex : un résumé)

Q37. Ton manuel scolaire numérique éditeur est-il facile à utiliser ?

- Très facile
- Facile
- Neutre
- Pas facile
- Pas du tout facile

Q38. Ton manuel scolaire numérique éditeur répond-il à tes attentes ?

- Totalement
- Oui
- Neutre
- Non
- Pas du tout

Q39. À l'avenir, penses-tu utiliser encore un manuel scolaire numérique éditeur ?

- Très probable
- Probable
- Neutre
- Peu probable
- Improbable

Q40. Selon toi, quels sont les avantages du manuel scolaire numérique éditeur ?

pouvoir suivre et faire les exercices

Q41. Selon toi, quels sont les inconvénients du manuel scolaire numérique éditeur ?

aucun

Q42. Coches les choix qui correspondent à tes opinions. Le manuel scolaire numérique

- Te permet d'être plus autonome
- Favorise les interactions avec ton enseignant et tes camarades
- Favorise les apprentissages en te permettant d'accéder à diverses ressources et fonctionnalités
- N'est pas adapté à tes besoins
- Ralentit tes apprentissages (ex: car les éléments sont inaccessibles)
- Nuit aux interactions avec ton enseignant et tes camarades
- autre (précises)

Q43. Préfères-tu ?

- Je préfère le manuel scolaire numérique éditeur plutôt que la version Pdf
- Je préfère le manuel scolaire Pdf plutôt que la version numérique éditeur
- J'aime autant les deux
- Je trouve les deux versions inadaptées
- Je ne sais pas

Q44. Tu as indiqué ne pas utiliser de manuel scolaire numérique. Utilises-tu un manuel scolaire en version pdf ?

Cette question n'a pu être présentée au répondant.

Q45. Avec quel(s) moyen(s) technique(s) utilises-tu ton manuel scolaire pdf ? (Plusieurs choix possibles)

Cette question n'a pu être présentée au répondant.

Q46. Utilises-tu un ou plusieurs outil(s) d'assistance pour accéder à ton manuel pdf ?

Cette question n'a pu être présentée au répondant.

Q47. Avec quel(s) lecteur(s) affiches-tu ton manuel scolaire en version pdf ?

Cette question n'a pu être présentée au répondant.

Q48. Dans quelle(s) matière(s) as-tu un manuel pdf ?

Cette question n'a pu être présentée au répondant.

Q49. De quelle(s) maison(s) d'édition ?

Cette question n'a pu être présentée au répondant.

Q50. Comment utilises-tu ton manuel scolaire pdf ?

Cette question n'a pu être présentée au répondant.

Q51. À quelle fréquence utilises-tu ton manuel scolaire pdf en collectif ?

Cette question n'a pu être présentée au répondant.

Q52. À quelle fréquence utilises-tu ton manuel scolaire pdf en individuel en classe ?

Cette question n'a pu être présentée au répondant.

Q53. À quelle fréquence utilises-tu ton manuel scolaire pdf en petit groupe ?

Cette question n'a pas été présentée au répondant.

Q54. À quelle fréquence utilises-tu ton manuel scolaire pdf à la maison ?

Cette question n'a pas été présentée au répondant.

Q55. Quelles fonctionnalités utilises-tu ?

Cette question n'a pas été présentée au répondant.

Q56. À quelle fréquence utilises-tu le zoom ?

Cette question n'a pas été présentée au répondant.

Q57. À quelle fréquence utilises-tu les outils de mise en évidence ?

Cette question n'a pas été présentée au répondant.

Q58. À quelle fréquence utilises-tu la recherche par mot-clef ?

Cette question n'a pas été présentée au répondant.

Q59. À quelle fréquence utilises-tu l'annotation textuelle ?

Cette question n'a pas été présentée au répondant.

Q60. À quelle fréquence utilises-tu l'ajout de commentaire ?

Cette question n'a pas été présentée au répondant.

Q61. Souhaiterais-tu que ton manuel scolaire pdf propose d'autres ressources ?

Cette question n'a pas été présentée au répondant.

Q62. Lesquelles ?

Cette question n'a pas été présentée au répondant.

Q63. Quelles tâches réalises-tu à l'aide de ton manuel pdf ? (Numérote de la tâche que tu réalises le plus (1) à celle que tu réalises le moins (4) - Indique 0 lorsque tu ne réalises pas la tâche).

Cette question n'a pas été présentée au répondant.

Q64. Ton manuel scolaire Pdf est facile à utiliser ?

Cette question n'a pas été présentée au répondant.

Q65. Ton manuel scolaire numérique répond-il à tes attentes ?

Cette question n'a pas été présentée au répondant.

Q66. Selon toi, quels sont les avantages du manuel scolaire Pdf ?

Cette question n'a pas été présentée à ce candidat.

Q67. Quels sont les symptômes du glaucome ?

Cette question n'a pas été présentée à ce candidat.

Q68. Quel type de déficience visuelle présentes-tu ?

- Vision floue avec champ visuel intact
- Perte de la vision périphérique
- Perte de la vision centrale
- Vision avec tâches
- Aucune déficience visuelle

Q69. Depuis quand ?

naissance

Q70. Es-tu :

- Une fille
- Un garçon

Q71. Quel âge as-tu ?

16 ans

Q72. Tu es

- En primaire
- Au collège
- Au lycée

Q73. Quel niveau ?

Cette question n'a pas été présentée à ce candidat.

Q74. Quel niveau ?

Cette question n'a pas été présentée à ce candidat.

Q75. Quel niveau ?

- 2nd
- 1ère
- Terminale

Q81. Peux-tu indiquer le numéro de ton département ?

31



Q77.

La présente étude a été réalisée dans le cadre d'une thèse financée par la région Occitanie et l'Université Fédérale de Toulouse Midi-Pyrénées. Elle bénéficie également d'un soutien financier de la FIRAH (Fondation Internationale de la Recherche Appliquée sur le Handicap) et d'un partenariat avec le CTRDV de Villeurbanne.

Q78. Si vous souhaitez que les résultats vous soient directement communiqués vous pouvez nous indiquer votre adresse email ici. Vous pouvez aussi noter vos commentaires et suggestions.

Q80. Merci d'avoir participé à cette enquête !

Laetitia Castillan pour le projet Acces-Man.
laetitia.castillan@gmail.com

Annexe 5 - Document de présentation de l'étude



Présentation de l'étude sur l'accessibilité des manuels scolaires numériques pour les élèves en situation de handicap visuel.

Responsables : **Laetitia Castillan (doctorante)***, **Julie Lemarié (Enseignant-chercheur)***, **Mustapha Mojahid (Enseignant-chercheur)****

*CLLE-LTC, Université de Toulouse
5 allée Antonio Machado
31 058 Toulouse
laetitia.castillan@univ-tlse2.fr

** IRIT-ELIPSE, Université de Toulouse
118 route de Narbonne
31 042 Toulouse

Objet du document : Demande de participation à une étude en ergonomie sur l'accessibilité des manuels scolaires numériques.

Objectif de l'étude :

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'accessibilité des manuels scolaires numériques pour les élèves en situation de handicap visuel. Pour ce faire, des données concernant les difficultés techniques, les problèmes de navigation ainsi que d'autres éléments relatifs aux interactions élève-manuel seront récoltés. Une attention particulière sera portée sur la perception qu'ont les élèves du manuel scolaire numérique.

Modalités de participation à l'étude :

Un ou plusieurs manuels scolaires numériques seront fournis gratuitement à l'élève. L'application et le manuel scolaire numérique seront téléchargés sur l'ordinateur portable de l'élève afin qu'il puisse les consulter sans connexion internet. L'élève pourra utiliser le manuel à sa convenance. Il conservera néanmoins la version pdf fournie par le service de transcription dont il dépend.

Afin de récolter les données relatives à l'utilisation du manuel scolaire numérique, trois entretiens individuels et trois réunions collectives seront organisés pendant l'année scolaire. Ces réunions se dérouleront lors des heures de permanence au sein même de l'établissement scolaire de l'élève et en présence d'un enseignant spécialisé. Des enregistrements vidéos et/ou audios pourront être réalisés lors de ces rencontres. Les chercheurs s'engagent à garantir l'anonymat de chaque participant et d'utiliser des données recueillies uniquement à des fins scientifiques (ex : articles, présentation lors d'un congrès). Le participant et ses parents ont le droit de stopper leur participation à l'étude sans avoir à fournir de justification.

Contexte dans lequel s'inscrit l'étude :

Cette étude s'inscrit dans un projet de thèse intitulé « Améliorer l'accessibilité des contenus pédagogiques pour les élèves présentant un handicap visuel ». Cette thèse est financée par la région Occitanie et l'Université Fédérale de Toulouse Midi Pyrénées. En étudiant les difficultés que les élèves rencontrent lors de l'utilisation d'un manuel scolaire numérique nous pourrions fournir des recommandations aux éditeurs et ainsi améliorer l'accessibilité effective de ces supports.

Pour tout renseignement complémentaire, vous pouvez contacter Mlle Castillan Laetitia au 06-50-83-39-70 ou à l'adresse suivante : laetitia.castillan@univ-tlse2.fr.

Annexe 6 - Formulaire de consentement



Formulaire de consentement libre et éclairé

Participation à une étude ergonomique sur les manuels scolaires numériques.

Je certifie avoir donné mon accord pour que mon enfant participe à une étude ergonomique sur les manuels scolaires numériques. J'accepte volontairement qu'il participe à cette étude et je comprends que sa participation n'est pas obligatoire. Je peux stopper sa participation à tout moment sans avoir à me justifier ni encourir aucune responsabilité. Mon consentement ne décharge pas les organisateurs de la recherche de leurs responsabilités et je conserve tous mes droits garantis par la loi.

Au cours de cette étude, j'accepte que soient recueillies des données sur les réponses de mon enfant. Je comprends que les informations recueillies sont strictement anonymes et confidentielles.

J'ai été informé(e) que l'identité de mon enfant n'apparaîtra dans aucun rapport ou publication et que toute information le concernant sera traitée de façon anonyme et confidentielle. J'accepte que les données enregistrées à l'occasion de cette étude puissent être conservées dans une base de données et faire l'objet de publication scientifique.

Nom de l'étude : Améliorer l'accessibilité des manuels scolaires pour les enfants présentant un handicap visuel.

Investigateur : Laetitia Castellan, Doctorant (CLLE-LTC / IRIT-ELIPSE)

Directeurs de recherche : Julie Lemarié et Mustapha Mojahid.

Nom du volontaire :

Fait à, le/...../....., en 2 exemplaires.

Signatures des parents du participant :

Annexe 7 - Liste des manuels scolaire numérique fournis aux élèves

Tableau 37. Liste des manuels fournis aux élèves lors des retours des usages.

Niveau	Matière	EAN numérique	EAN papier	Année
3 ^e	Histoire-Géographie	9782091148168 9782091131696	9782091718972	2016
1 ^{le ES}	Histoire-Géographie	9782091144207	9782081727998	201
5 ^e	Science et Vie de la Terre	9782091148885	9782091712529	2017
5 ^e	Technologie		9782091647166	2016
4 ^e	Mathématique	9782091144948	9782091719214	2016
4 ^e	Histoire-Géographie	9782091148083 9782091129501	9782091718965	2016
2 ^{nde}	Mathématique	9782091132143	9782091721989	2014
2 ^{nde}	Histoire-Géographie	9782091128672	9782091727769	2010
2 ^{nde}	Mathématique	9782091132143	9782091721989	2014
2 ^{nde}	Histoire-Géographie	9782091128672	9782091727769	2010
4 ^e	Physique-chimie		9782091711768	2007
4 ^e	Mathématique	9782091145044	9782091719177	2016

Annexe 8 - Entretien semi-directif pour les élèves qui non pas utilisé le manuel scolaire numérique

- Tu dis ne pas avoir utilisé le manuel scolaire numérique que nous t'avons fourni, peux-tu m'expliquer pourquoi ?
- Est-ce que tu n'as pas utilisé le manuel scolaire numérique éditeur car tu ne t'ai pas servi du manuel scolaire ? (Professeur n'utilise pas le manuel)
- Est-ce que tu n'as pas utilisé le manuel scolaire numérique éditeur pour des raisons matérielles ? (Ordinateur portable HS, problème de connexion...)
- Est-ce que tu n'as pas utilisé le manuel scolaire numérique éditeur car tu ne te sentais pas suffisamment formé ? (Formation à l'outil insuffisant, accompagnement insuffisant, aide non disponible dans l'application, aide insuffisante dans l'application)
- Est-ce que tu n'as pas utilisé le manuel scolaire numérique éditeur pour des raisons organisationnelle ? (Temps d'accès plus long, trop lourd de sortir l'ordinateur à chaque fois -> préférence papier en caractères agrandi, tous les livres ne sont pas sur la même application)
- Est-ce que tu n'as pas utilisé le manuel scolaire numérique éditeur pour des raisons sociales ? (Tu avais peur que les autres se moquent de toi...)
- Est-ce que tu n'as pas utilisé le manuel scolaire numérique éditeur pour des raisons personnelles ? (Tu ne voulais pas l'utiliser, choix personnel)
- Même si tu n'as pas souvent utilisé ton manuel scolaire numérique éditeur, nous l'avons consulté ensemble et tu as vu certains de tes camarades l'utiliser, peux-tu me donner ton sentiment vis à vis de ce manuel scolaire numérique ? qu'en penses-tu ?
- Y a-t-il des choses qui pourraient te faire utiliser le manuel scolaire numérique éditeur à l'avenir ? (Ex : que tout le monde en classe l'utilise, qu'il soit plus facile à utiliser...)
- Souhaites-tu bénéficier de nouveaux codes d'accès pour un manuel scolaire numérique l'an prochain ?

Merci pour tes réponses.

Annexe 9 - Lettre d'acceptation par le Comité d'Éthique



Toulouse, le jeudi 17 mai 2018

A l'attention de LEMARIE Julie

CERNI : Comité d'Éthique sur les Recherches

Objet : Avis du bureau du 15 mai 2018

Numéro d'enregistrement : 2018-085

Titre du projet soumis : Améliorer l'accessibilité des manuels scolaires numériques pour les élèves en situation de handicap visuel inclus en classe ordinaire (ACCESS-MAN)

Porteur de projet : LEMARIE Julie , Participant(s) au projet :
laboratoire CLLE, UTJJ.

Madame,

Compte tenu des éléments fournis dans votre demande, le Comité d'Éthique pour les Recherches Non-Interventionnelles émet l'avis suivant : **Avis favorable**

Nous rappelons, par ailleurs, qu'il relève de la responsabilité des chercheurs de se conformer à leurs obligations légales notamment en ce qui concerne les aspects d'homologation du lieu de recherche ou CNIL : Informatique et Liberté.

Nous restons à votre disposition pour toute question.

Les membres du bureau CERNI.

Pr Maria Teresa Munoz Sastre

Pr Jacques Py

Handwritten signature of Maria Teresa Munoz Sastre.

Handwritten signature of Jacques Py.

Marc Macé

Handwritten signature of Marc Macé.

CERNI - Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées
Département Recherche, Doctorat et Valorisation

41, Allées Jules Guesde - CS 61321 - 31013 Toulouse CEDEX 6 - Tél. : 05 61 10 80 30
Courriel : bureau-cerni@univ-toulouse.fr

Annexe 10 - Échelle de Likert agrandie

1	2	3	4	5
----------	----------	----------	----------	----------

Annexe 11 - Questionnaire de Sentiment d'Auto-Efficacité

- Je me sens capable de me déplacer efficacement dans le manuel pour aller à la page ou au chapitre souhaité.
- Je me sens capable de chercher et trouver une information dans le manuel pour répondre à une question.
- Je me sens capable de je me sens capable de réaliser un exercice interactif.
- Je me sens capable de laisser des annotations écrites ou orales.
- Je me sens capable de comprendre l'organisation générale du manuel (les principaux chapitres et l'organisation à l'intérieur des chapitres).
- Je me sens capable de revenir en arrière en cas d'erreur, supprimer un élément que j'aurais ajouté sans faire exprès.

Annexe 12 - Questionnaire de désorientation

Le score de désorientation a été mesuré via le questionnaire de Ahuja & Webster (2001).

- Je me suis senti perdu
- J'ai senti que je tournais en rond par moment.
- J'ai eu des difficultés à trouver une page que je cherchais
- Naviguer de page en page représentait un problème.
- Je ne savais pas comment me rendre à tel endroit.
- Après avoir navigué pendant un moment, je ne savais plus où aller.

Annexe 13 - Un questionnaire de satisfaction

- À l'avenir, je pense encore utiliser un manuel scolaire numérique.
- Le manuel scolaire numérique est-il mal présenté.
- Le manuel scolaire numérique est-il facile à utiliser.
- Je préfère le manuel que j'utilise habituellement au manuel numérique (ou PDF).
- Quand j'utilisais le manuel, j'ai été frustré par ce que je faisais.

Annexe 14 - Corpus utilisé pour le test de la solution

Texte 1

La bise fait le bruit...



Victor Hugo
(1802-1885)
Cet écrivain est l'un des plus importants de la littérature française. Son œuvre, très variée, rassemble des romans (*Les Misérables*), des poèmes (*Les Contemplations*) et des pièces de théâtre (*Ruy Blas*).

La bise fait le bruit d'un géant qui soupire ;
La fenêtre palpite et la porte respire ;
Le vent d'hiver glapit¹ sous les tuiles du toit ;
Le feu fait à monâtre² une pâle dorure ;

Le trou de ma serrure
Me souffle sur les doigts.

— VICTOR HUGO, *Dernière Geste*³, 1902 (posthume).

1. Glapit : hurle comme un renard.
2. Âtre : foyer de la cheminée.
3. Geste : ensemble de choses semblables réunies, dont la forme évoque un jaillissement.

Lecture

Pour bien lire

- Quels détails vous permettent d'identifier ce texte comme un poème ?
- a. Combien comptez-vous de strophes ? et de vers ?
b. Quels sont les mots qui riment ?
- a. Comptez le nombre de syllabes dans chaque vers.
b. Dans quels cas faut-il prononcer les -e muets à la fin des mots ?
- Que décrit Victor Hugo dans ce poème ?

Pour approfondir

- Relisez le poème à voix haute.
a. Quelle voyelle est répétée dans la première strophe ?
b. Quel bruit le poème cherche-t-il à imiter ?
- Notez tous les éléments qui donnent l'impression que cette maison est vivante.
- Quelle impression se dégage de cette maison ? Auriez-vous envie d'y vivre ? Pourquoi ?

Vocabulaire

- Cherchez dans le poème les mots qui correspondent aux définitions suivantes :
vent froid – battre très fort – cheminée – hurler comme un animal.
- Complétez les phrases suivantes avec chacun de ces mots.
1. La bûche crépite dans l'....
2. La fourmi se trouva forte dépourvue quand la ... fut venue.
3. La pauvre bête se cacha dans le fourré et ... de douleur, je sentis alors son cœur

Texte 2

Le vent



Emile Verhaeren
(1855-1916)
La poésie de cet écrivain belge met en scène des paysages de campagne ou de grandes villes.

Sur la bruyère longue infiniment,
Voici le vent cornant¹ Novembre,
Sur la bruyère, infiniment,
Voici le vent

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

Aux puits des fermes,
Les seaux de fer et les poulies³
Grincement ;
Aux citernes des fermes,
Les seaux et les poulies
Grincement et criant

Toute la mort, dans leurs mélancolies.

[...]
Sur la bruyère, infiniment,
Voici le vent hurlant,
Voici le vent cornant Novembre.

— EMILE VERHAEREN, *Les Villages illusoire*, 1895.

Lecture

Pour bien lire

- Où et quand situez-vous la scène décrite dans le poème ?
- Quels sont les mots qui évoquent des bruits ?
- Le paysage décrit vous semble-t-il triste ou gai ? Justifiez votre réponse.

Pour approfondir

- Relevez les répétitions : quelle est l'impression créée ?
- Quelles allitérations (répétitions d'une même consonne) présentes dans le poème nous font entendre le bruit du vent ?
- Relevez tous les mots qui évoquent la souffrance. L'ensemble de ces mots constitue un champ lexical.
- Relevez les mots qui personnifient le vent. Quelle est leur nature ? Quels autres objets sont personnifiés ?

Écriture

À votre tour, décrivez, dans un court poème, le vent soufflant sur la mer par temps de tempête.
— Employez la répétition, créez des effets sonores.
— Cherchez à personnifier le vent en employant quelques-uns des verbes suivants : *siffler, gronder, hurler, bondir, gémir*.
Pour préparer ce travail, faites les exercices de vocabulaire 7, 8 et 9 p. 30.



Effet de vent (détail), Claude Monet, 1891 (musée d'Orsay, Paris).

16
17

Figure 39. Poème Le Vent, p. 17.

Le temps a laissé son manteau



Charles d'Orléans

(1394-1465)
Père du futur roi Louis XII, il est appelé le Prince-poète : grand amateur de poésie, il organisa à sa cour des jeux et concours de poésie et écrivit lui-même rondeaux et ballades.

1. Qu'en : qui.
2. Jargon : langue.
3. Livrée : habit.
4. Orfévrière : objet de décoration en métal précieux.

Le temps a laissé son manteau
De vent, de froidure et de pluie,
Et s'est vêtu de broderie,
De soleil luisant, clair et beau.

Il n'y a bête ni oiseau,
Qu'en¹ son jargon² ne chante ou crie :
Le temps a laissé son manteau
De vent, de froidure et de pluie.

Rivière, fontaine et ruisseau
Portent, en livrée³ jolie,
Gouttes d'argent, d'orfèvrerie⁴ ;
Chacun s'habille de nouveau ;
Le temps a laissé son manteau.

— CHARLES D'ORLÉANS, *Rondeaux*, XV^e siècle.

Lecture

Pour bien lire

1. Quelle saison est évoquée dans ce poème ? Justifiez votre réponse.
2. Qu'est-ce qui montre que la nature est ici personnifiée ?
3. Quelle impression se dégage du poème ?

Pour approfondir

4. Quel est le type de vers utilisé ?
5. a. Quel vers est commun à chaque strophe ?
b. Quel effet produit cette répétition ?
6. Les sonorités du poème sont-elles plutôt graves et monotones ou gaies et variées ?
7. a. Relevez deux vers qui s'opposent dans la première strophe.
b. Quel effet produit cette opposition ?

8. Quels sont les termes qui évoquent la richesse ?
9. Qui parle aux vers 7 et 8 ?
10. Quels détails du poème donnent l'impression que toute la nature est en fête ?

Vocabulaire

1. Donnez un synonyme de l'adjectif *luisant* au vers 4.
2. a. Sur quel radical le mot *froidure* est-il formé ?
b. De la même manière, formez d'autres noms à partir des mots suivants : *cheveu* – *vert* – *voile* – *toit* – *arme* – *doré* – *parer*.

Le jardin et la maison



Anna de Noailles

(1876-1933)
Dite comtesse de Noailles, cette femme de lettres française d'origine grecque-romaine a écrit trois romans et de nombreux recueils de poèmes. Elle fut la première femme commandeur de la Légion d'honneur.

1. Dolent : qui exprime plaintivement une souffrance.

Voici l'heure où le pré, les arbres et les fleurs
Dans l'air dolent¹ et doux soupirent leurs odeurs.
Les baies du lierre obscur où l'ombre se recueille
Sentant venir le soir se couchent dans leurs feuilles,
Le jet d'eau du jardin, qui monte et redescend,
Fait dans le bassin clair son bruit rafraîchissant ;
La paisible maison respire au jour qui baisse
Les petits orangers fleurissant dans leurs caisses
Le feuillage qui boit les vapeurs de l'étang
Lassé des feux du jour s'apaise et se détend,
— Peu à peu la maison entr'ouvre ses fenêtres
Où tout le soir vivant et parfumé pénètre,
Et comme elle, penché sur l'horizon, mon cœur
S'emplit d'ombre, de paix, de rêve et de fraîcheur...

— ANNA DE NOAILLES, *Le Cœur s'improbable*, Calman Lévy Éditeur, 1901.

Lecture

Pour bien lire

1. Quelle est la structure de ce poème (nombre de strophes, nombre de vers par strophe, disposition des rimes) ?
2. a. Le titre du poème vous paraît-il bien choisi ? Expliquez pourquoi.
b. Quel moment de la journée est évoqué ? Citez deux expressions qui vous permettent de le comprendre.
c. Ce moment est-il perçu comme agréable ou désagréable ? Développez votre réponse en citant des mots du poème.

Pour approfondir

3. a. Quel est le sens du verbe *soupirer* ? Est-ce le cas dans son emploi au vers 2 ?
b. Dans la troisième strophe, relevez une autre expression qui détourne le sens d'un mot et expliquez-la.
c. a. Expliquez l'expression les « feux du jour » (v. 10). Relevez un nom et un adjectif évoquant le contraire.
b. Quelle opposition apparaît dans l'ensemble du poème ?

4. a. Observez les verbes employés dans tout le poème : sont-ils des verbes d'action ou des verbes d'état ? Leurs sujets sont-ils animés ou inanimés ?
b. Quelle image nous est ainsi donnée de la nature et des différents éléments décrits ?
5. Relisez la dernière strophe : quelle expression montre que le poète est en harmonie avec tout ce qui l'entoure ?
6. a. Relevez dans le poème deux mots de la famille de *paix* (v. 14).
b. Quelle atmosphère se dégage de ce poème ?

Écriture

« Les fleurs soupirent leurs odeurs », « un bruit rafraîchissant » : sur les mêmes modèles, inventez deux expressions mêlant les sens, de manière à évoquer une chaleur étouffante. Employez-les dans un paragraphe de trois à quatre phrases.

Figure 40. Poème Le Temps a Laissé son manteau (p. 22) et poème Le Jardin et la maison (p. 23).

Annexe 15 - Liste des questions et des réponses pour le test de la solution

Tableau 38. Liste des questions et réponses pour la tâche 1.

Poème 1		
<i>Le Vent</i>		
Question 1	Où et quand situez-vous la scène décrite dans le poème ?	La scène se déroule en novembre dans un village qui semble abandonné, déserté.
Question 2	Quels sont les mots qui évoquent des bruits ?	Les mots qui évoquent des bruits sont : « cornant, se déchire, souffles lourds, battant, grincent, crient, hurlant ». Ce ne sont pas des bruits très agréables...

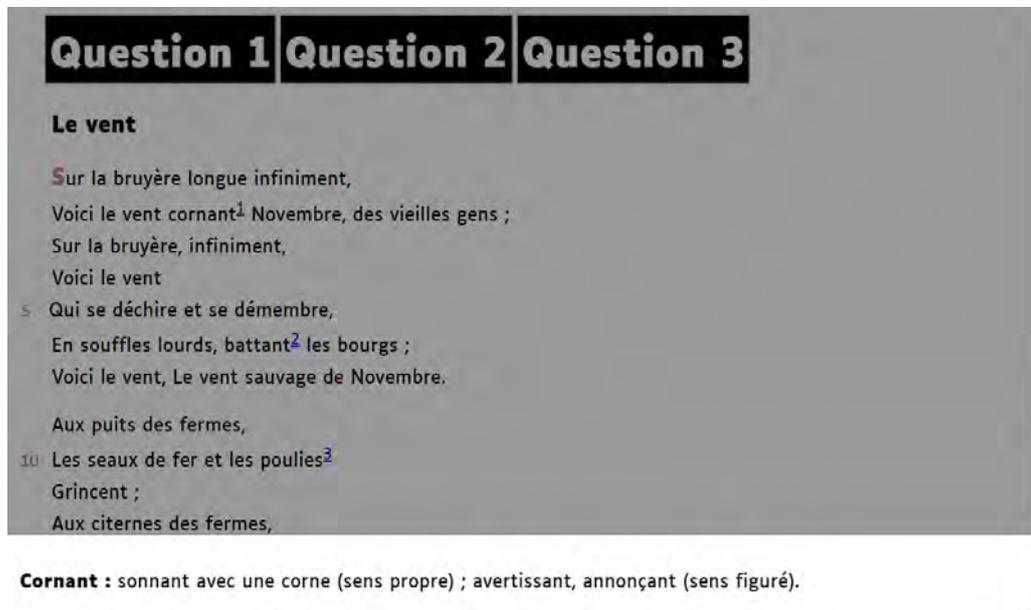
Tableau 39. Liste des questions et réponses pour la tâche 2.

Poème 2		
<i>Le temps a laissé son manteau</i>		
Question 1	Quelle saison est évoquée dans ce poème ? Justifiez votre réponse.	Il s'agit de la saison du printemps puisque tous les éléments sinistres de l'hiver (froid, pluie) sont partis et ont laissé place aux oiseaux.
Question 2	Qu'est ce qui montre que la nature est ici personnifiée ?	Le temps est personnifié car il est revêtu d'un manteau et il y a l'utilisation du verbe pronominal « s'est vêtu » qui corrobore cette personnification.

Tableau 40. Liste des questions et réponse pour la tâche 3.

Poème 3		
<i>Le jardin et la maison</i>		
Question 1	Le titre du poème vous paraît-il bien choisi ? expliquez pourquoi.	le titre du poème est bien choisi car il s'agit d'une description d'un jardin près d'une maison.
Question 2	Quel moment de la journée est évoqué ? Citez deux expressions qui vous permettent de le comprendre.	C'est la fin de la journée, le crépuscule, qui est évoqué car on évoque : « sentant venir le soir » et « le soir vivant et parfumé » au début et à la fin du poème.

Annexe 16 - Affichage des définitions pour les version intégrée et intégrée-multimodale



The screenshot shows a software interface with three columns labeled 'Question 1', 'Question 2', and 'Question 3'. The content is organized into three sections, each with a number in the left margin:

- Section 5:** 'Le vent'. It includes the text: 'Sur la bruyère longue infiniment, Voici le vent cornant¹ Novembre, des vieilles gens ; Sur la bruyère, infiniment, Voici le vent'.
- Section 5:** 'Qui se déchire et se démembre, En souffles lourds, battant² les bourgs ; Voici le vent, Le vent sauvage de Novembre.'.
- Section 10:** 'Aux puits des fermes, Les seaux de fer et les poulies³ Grincent ; Aux citernes des fermes,'.

Below the screenshot, a definition is provided: **Cornant** : sonnante avec une corne (sens propre) ; avertissant, annonçant (sens figuré).

Figure 41. Affichage des définitions - version intégrée et intégrée-multimodale.

Annexe 17 - Affichage des définitions pour la version contrôle

The screenshot displays a digital educational resource interface for the text 'La bise fait le bruit...' and 'Le vent'. The interface is organized into two main columns, 'Texte 1' and 'Texte 2'. At the top, there are navigation buttons for 'Sommaire' and 'Ressources', and a search bar. The 'Texte 1' column features a portrait of Victor Hugo and the title 'La bise fait le bruit...'. Below the title, there is a short text excerpt and a 'Lecture' section with questions. A 'Vocabulaire' section is also present, listing words and their meanings. The 'Texte 2' column features a portrait of Émile Zola and the title 'Le vent'. Below the title, there is a short text excerpt and a 'Lecture' section with questions. An 'Écriture' section is also present, providing instructions for a writing exercise. The interface includes a sidebar on the right with a search bar and a 'Chapitre 1' label. The bottom of the page shows the page number '33'.

Figure 42. Affichage des définitions version contrôle - sans zoom.

Annexe 18 - Questionnaire pré-test

Fiche personnelle :

- Quel est ton prénom ?
- Quel est ton âge ?
- Quel est ton niveau scolaire ?
- As-tu des difficultés d'apprentissages (dys-) ?
- Utilises-tu un ordinateur pour réaliser des tâches scolaires ? Depuis combien de temps ?
A quelle fréquence ?
- Utilises-tu des technologies d'assistance spécifiques ? (ex : zoomtext)
- Sous quel format consultes-tu tes manuels scolaires ? (format et taille)
- Utilises-tu un manuel scolaire numérique ? Si oui, depuis combien de temps ? Et à quelle fréquence ?
- As-tu déjà utilisé le manuel « Terre des lettres », français 6^{ème} ?

Contrôle de l'intérêt pour la matière :

Lors de la phase de test, nous allons te demander de travailler sur un manuel scolaire de français.

Peux-tu me dire, quel est ton intérêt pour cette matière sur une échelle de 1 (ça ne m'intéresse pas du tout) à 5 (ça m'intéresse énormément) :

Questionnaire phase de familiarisation Mesure du sentiment d'efficacité :

Indique à quel point tu te sens capable de réaliser chacune des tâches citées : 1 (pas du tout capable) à 5 (tout à fait capable)

Annexe 19 - Questionnaire de la phase de test pour le test de la solution

- Quel effort mental as-tu dû fournir pour réaliser la tâche ?
1 (pas d'effort du tout) à 5 (un effort très important)
- Je trouve qu'avec cette façon de présenter l'information :
 - c'est facile de lire le poème
 - c'est facile de passer du poème aux questions
 - de saisir les réponses

Index des tableaux

TABLEAU 1. TABLEAU COMPARATIF DES ADAPTATIONS DES MANUELS SCOLAIRES EN FRANCE ET SUEDE EN FONCTION DE LA NATURE DU TROUBLE.	73
TABLEAU 2. CRITERES ET SOUS-CRITERES DE BASTIEN ET SCAPIN, 1993 (TRADUIT PAR L'AUTEUR).	80
TABLEAU 3. REPARTITION DES ELEVES PAR NIVEAU SCOLAIRE.	105
TABLEAU 4. ADAPTATION DU QUESTIONNAIRE SUS A L'UTILISATION DU MANUEL SCOLAIRE NUMERIQUE.	106
TABLEAU 5. REPARTITION DES ELEVES PAR NIVEAU SCOLAIRE.	120
TABLEAU 7. REPARTITION DES OBSERVATIONS SUR LES CATEGORIES DE LISIBILITE DES ANNOTATIONS EN FONCTION DES GROUPES.	124
TABLEAU 8. SCORES MOYENS DE LA CHARGE MENTALE EN FONCTION DES GROUPES ET DE LA TACHE.	127
TABLEAU 9. INDICATIONS ATTESTANT OU SUGGERANT LA DIFFICULTE D'ACCEDER AU MANUEL SCOLAIRE NUMERIQUE PAR ETUDES.	138
TABLEAU 10. INDICATIONS ATTESTANT OU SUGGERANT LA DIFFICULTE D'ACCEDER A OU L'IMPOSSIBILITE D'ACCEDER AUX CONTENUS VISUELS PAR ETUDES.	139
TABLEAU 11. INDICATIONS ATTESTANT OU SUGGERANT LA DIFFICULTE A PERCEVOIR LA SIGNALISATION TEXTUELLE PAR ETUDES.	141
TABLEAU 12. INDICATIONS ATTESTANT OU SUGGERANT LA DIFFICULTE A REPERER LA STRUCTURE GENERALE DU MANUEL SCOLAIRE PAR ETUDES.	142
TABLEAU 13. INDICATIONS ATTESTANT OU SUGGERANT LA DIFFICULTE A SE REPERER AU SEIN DE LA PAGE PAR ETUDES.	143
TABLEAU 14. INDICATIONS ATTESTANT OU SUGGERANT LA DIFFICULTE A TRAITER DES INFORMATIONS ELOIGNEES SPATIALEMENT PAR ETUDES.	144
TABLEAU 15. INDICATIONS ATTESTANT OU SUGGERANT LA DIFFICULTE A ECRIRE DANS LE MANUEL PAR ETUDES.	146
TABLEAU 16 : INDICATIONS ATTESTANT OU SUGGERANT LA DIFFICULTE A RECHERCHER UNE INFORMATION PAR ETUDES.	147
TABLEAU 17. TABLEAU RECAPITULATIF DES DIFFICULTES ET BESOINS DES UTILISATEURS AVEC TROUBLE DE LA FONCTION VISUELLE POUR L'UTILISATION D'UN MANUEL SCOLAIRE NUMERIQUE.	149
TABLEAU 18 : TABLEAU DES CARACTERISTIQUES DES TROIS TACHES A REALISER LORS DU TEST DE LA SOLUTION.	160
TABLEAU 19. TABLEAU RECAPITULATIF DES DIFFERENCES ENTRE LES VERSIONS CONTROLE, INTEGREE ET INTEGREE-MULTIMODALE.	165
TABLEAU 20. REPARTITION DES BESOINS EN TERMES DE TAILLE D'AFFICHAGE DE CONTENUS TEXTUELS.	169
TABLEAU 20. CLASSEMENT DES VERSIONS PAR PREFERENCE DES UTILISATEURS.	174
TABLEAU 21. CLASSEMENT DES VERSIONS POUR UNE UTILISATION EN CLASSE PAR PREFERENCE DES UTILISATEURS.	174

TABLEAU 22. CLASSEMENT DES VERSIONS POUR UNE UTILISATION A LA MAISON PAR PREFERENCE DES UTILISATEURS.	174
TABLEAU 23. CLASSEMENT DES VERSIONS SELON LA SATISFACTION DES UTILISATEURS.	174
TABLEAU 24. CLASSEMENT DU POEME SELON LA DIFFICULTE PERÇUE PAR LES UTILISATEURS.	175
TABLEAU 25. CLASSEMENT DU POEME SELON LA DIFFICULTE PERÇUE PAR LES UTILISATEURS.	175
TABLEAU 26. CLASSEMENT DU POEME SELON LA DIFFICULTE PERÇUE PAR LES UTILISATEURS.	175
TABLEAU 27. SYNTHESE DES AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA VERSION CONTROLE ENONCES PAR LES PARTICIPANTS.	176
TABLEAU 28. SYNTHESE DES AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA VERSION INTEGRATIVE ENONCES PAR LES PARTICIPANTS.	177
TABLEAU 29. SYNTHESE DES AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA VERSION INTEGRATIVE MULTIMODALE ENONCES PAR LES PARTICIPANTS.	177
TABLEAU 30. TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DU TEST DE LA SOLUTION.	178
TABLEAU 32. HEURISTIQUE DE BASTIEN ET SCAPIN (1993). NOTRE TRADUCTION.	211
TABLEAU 33. NIVEAUX ET CRITERES A2RNE POUR LA CATEGORIE CONTENU TEXTE. EXTRAIT DE HTTPS://EDUSCOL.EDUCATION.FR/CID89501/ACCESSIBILITE-ET-ADAPTABILITE-DES-RESSOURCES-NUMERIQUES-POUR-LECOLE.HTML	212
TABLEAU 34. NIVEAUX ET CRITERES A2RNE POUR LA CATEGORIE IMAGES, VIDEOS ET MULTIMEDIAS. EXTRAIT DE HTTPS://EDUSCOL.EDUCATION.FR/CID89501/ACCESSIBILITE-ET-ADAPTABILITE-DES-RESSOURCES-NUMERIQUES-POUR-LECOLE.HTML	213
TABLEAU 35. NIVEAUX ET CRITERES A2RNE POUR LA CATEGORIE CONSULTATION ET NAVIGATION. EXTRAIT DE HTTPS://EDUSCOL.EDUCATION.FR/CID89501/ACCESSIBILITE-ET-ADAPTABILITE-DES-RESSOURCES-NUMERIQUES-POUR-LECOLE.HTML	214
TABLEAU 36. NIVEAUX ET CRITERES A2RNE POUR LA CATEGORIE TABLEAUX ET FORMULAIRES. EXTRAIT DE HTTPS://EDUSCOL.EDUCATION.FR/CID89501/ACCESSIBILITE-ET-ADAPTABILITE-DES-RESSOURCES-NUMERIQUES-POUR-LECOLE.HTML	215
TABLEAU 37. NIVEAUX ET CRITERES A2RNE POUR LA CATEGORIE CODE ET GESTION NUMERIQUES DES DROITS. EXTRAIT DE HTTPS://EDUSCOL.EDUCATION.FR/CID89501/ACCESSIBILITE-ET-ADAPTABILITE-DES-RESSOURCES-NUMERIQUES-POUR-LECOLE.HTML	216
TABLEAU 38. LISTE DES MANUELS FOURNIS AUX ELEVES LORS DES RETOURS DES USAGES.	229
TABLEAU 41. LISTE DES QUESTIONS ET REPONSES POUR LA TACHE 1.	238
TABLEAU 42. LISTE DES QUESTIONS ET REPONSES POUR LA TACHE 2.	238
TABLEAU 43. LISTE DES QUESTIONS ET REPONSE POUR LA TACHE 3.	238

Index des figures

<i>FIGURE 1.</i> EXEMPLE D'UN MANUEL SCOLAIRE NUMERIQUE DE FRANÇAIS 3 ^{EME}	23
<i>FIGURE 2.</i> MODELE DE LA THEORIE COGNITIVE DE L'APPRENTISSAGE MULTIMEDIAS (MAYER, 2014, P.52, NOTRE TRADUCTION).	27
<i>FIGURE 3.</i> EXEMPLES DE TYPE D'ATTEINTES DE LA VISION LORS DE LA PERCEPTION D'UNE PAGE DE MANUEL SCOLAIRE. SIMULATION REALISEE AVEC L'APPLICATION EYEVUEW.	32
<i>FIGURE 4.</i> SCHEMA ILLUSTRANT LES PRINCIPES DE SEGREGATION, D'INTEGRATION ET D'INCLUSION. EXTRAIT DU SITE DE L'ASSOCIATION TOUPI.	35
<i>FIGURE 5.</i> ÉVOLUTION DES EFFECTIFS D'ELEVES EN SITUATION DE HANDICAP INCLUS EN CLASSE ORDINAIRE.	37
<i>FIGURE 6.</i> TYPE DE CONTENU PEDAGOGIQUE EN FONCTION DU TYPE DE DEFICIENCE VISUELLE.	40
<i>FIGURE 7.</i> EXEMPLE DE L'ADAPTATION D'UNE FIGURE DE MATHEMATIQUE EN DESSIN EN RELIEF.	41
<i>FIGURE 8.</i> PHOTOGRAPHIE D'UN ELEVE DE PRIMAIRE UTILISANT UN BLOC NOTE BRAILLE.	43
<i>FIGURE 9.</i> PHOTOGRAPHIE D'UN ELEVE DE PRIMAIRE UTILISANT UNE PLAGE BRAILLE COUPLEE A UN ORDINATEUR PORTABLE.	44
<i>FIGURE 10.</i> PHOTOGRAPHIE D'UN TELE-AGRANDISSEUR.	44
<i>FIGURE 11.</i> ADAPTATION DU SCHEMA DE MAYER (2014) AUX ELEVES NON-VOYANTS.	48
<i>FIGURE 12.</i> EXEMPLE D'UN FORMAT INTEGRE ET NON INTEGRE (EXTRAIT DE MAYER, 2014, P. 208-209).	51
<i>FIGURE 13.</i> ILLUSTRATION DE L'EXPLOITATION INTENSIVE DES DISPOSITIFS DE SIGNALISATION (EXTRAIT DE MALTI, 2018, P.102).	54
<i>FIGURE 14.</i> EXEMPLE D'UNE DOUBLE PAGE POUR ILLUSTRER LA DENSITE INFORMATIONNELLE.	83
<i>FIGURE 15.</i> ILLUSTRATION DES DOUBLONS DANS LA FONCTIONNALITE TROUSSE.	84
<i>FIGURE 16.</i> EXEMPLE DE DEUX PROCEDURES DIFFERENTES POUR FERMER UNE PAGE DANS LE MANUEL SCOLAIRE NUMERIQUE.	85
<i>FIGURE 17.</i> CAPTURE D'ECRAN DES PAGES 16-17 PERMETTANT DE CONSTATER LE RECOURS A DE NOMBREUX SIGNAUX TEXTUELS ET DISPOSITIONNELS.	86
<i>FIGURE 18.</i> LES TROIS PAGES CONSTITUANT LE SOMMAIRE.	114
<i>FIGURE 19.</i> CAPTURE D'ECRAN DE LA PAGE 16 PRESENTANT LES EXERCICES AUXQUELS LES ELEVES DOIVENT REpondRE.	115
<i>FIGURE 20.</i> EXTRAIT DE LA PAGE 16 COMPORTANT LE POEME A LIRE ET LES QUESTIONS AUXQUELLES LE PARTICIPANT DOIT REpondRE.	118
<i>FIGURE 21.</i> PRESENTATION DE L'EXERCICE INTERACTIF.	119
<i>FIGURE 22.</i> RECAPITULATIF DES DIFFERENTES ETAPES DU TEST D'UTILISABILITE ET DES MESURES ASSOCIEES.	120
<i>FIGURE 23.</i> CAPTURE D'ECRAN DE L'EXERCICE INTERACTIF ET PRESENTATION DES REponses CORRECTES.	125
<i>FIGURE 24.</i> EXEMPLE D'UN ELEVE MALVOYANT QUI REpond AUX QUESTIONS AVEC LA TROUSSE.	130
<i>FIGURE 25.</i> EXEMPLE D'UN ELEVE VOYANT QUI REpond AUX QUESTIONS AVEC LA TROUSSE.	131
<i>FIGURE 26.</i> EXEMPLE D'UN ELEVE MALVOYANT QUI REALISE L'EXERCICE INTERACTIF.	133
	245

<i>FIGURE 27.</i> EXEMPLE ILLUSTRANT LES PROBLEMES DE PIXELLISATION LORS DE L'UTILISATION DE LA LOUPE WINDOWS.	137
<i>FIGURE 28.</i> SCHEMA RECAPITULATIF DES PROBLEMES QUE RENCONTRENT LES ELEVES AVEC TROUBLE DE LA FONCTION VISUELLE LORS DE L'UTILISATION D'UN MANUEL SCOLAIRE NUMERIQUE ET LEURS CONSEQUENCES.	148
<i>FIGURE 29.</i> EXEMPLE DE VUE D'ENSEMBLE DISPONIBLE POUR LES ELEVES VOYANTS DANS LE MANUEL SCOLAIRE NUMERIQUE.	157
<i>FIGURE 30.</i> EXEMPLE DE VUE D'ENSEMBLE DISPONIBLE POUR LES ELEVES VOYANTS DANS LE MANUEL SCOLAIRE NUMERIQUE.	162
<i>FIGURE 31.</i> ILLUSTRATION DE LA VERSION INTEGREE.	163
<i>FIGURE 32.</i> ILLUSTRATION DE LA VERSION MULTIMODALE.	165
<i>FIGURE 33.</i> SCHEMA PRESENTANT LES DIFFERENTES ETAPES DU TEST DE LA SOLUTION.	166
<i>FIGURE 34.</i> CORPUS EVALUE LORS DE L'INSPECTION ERGONOMIQUE, SOMMAIRE (1/3).	208
<i>FIGURE 35.</i> CORPUS DE L'INSPECTION ERGONOMIQUE, SOMMAIRE (2/3).	208
<i>FIGURE 36.</i> CORPUS DE L'INSPECTION ERGONOMIQUE, SOMMAIRE (3/3).	209
<i>FIGURE 37.</i> CORPUS DE L'INSPECTION ERGONOMIQUE, PAGE 14-15.	209
<i>FIGURE 38.</i> CORPUS DE L'INSPECTION ERGONOMIQUE, PAGE 15-16.	210
<i>FIGURE 39.</i> POEME LE VENT, P. 17.	236
<i>FIGURE 40.</i> POEME LE TEMPS A LAISSE SON MANTEAU (P. 22) ET POEME LE JARDIN ET LA MAISON (P. 23).	237
<i>FIGURE 41.</i> AFFICHAGE DES DEFINITIONS - VERSION INTEGREE ET INTEGREE-MULTIMODALE.	239
<i>FIGURE 42.</i> AFFICHAGE DES DEFINITIONS VERSION CONTROLE - SANS ZOOM.	240