amU
Aix Marseille Université

NNT : 0000AIXM0000

THÈSE DE DOCTORAT

Soutenue à Aix-Marseille Université
le 05 Mars 2025 par

Maud RASAMIMANANA

La bande-dessinée : un outil pour faciliter la compréhension d'un message écrit ? Données issues de lecteurs avec des niveaux d'expertise différents

Discipline

Psychologie

École doctorale

ED 356 – Cognition, Langage, Éducation

Laboratoire/Partenaires de recherche

Centre de Recherche en Psychologie et Neurosciences (CRPN)
Institut Créativité et Innovation (InCIAM)

Composition du jury

Eric JAMET — Rapporteur
Professeur, Université Rennes 2

Fabienne CHETAIL — Rapporteure
Professeure, Université Libre de Bruxelles

Valérie GYSELINCK — Examinatrice
Directrice de Recherche, Université Gustave Eiffel

Eddy CAVALLI — Examinateur
Maître de Conférence, Université Lyon 2

Lucile CHANQUOY — Présidente du jury
Professeure, Université Côte d'Azur

Pascale COLE — Directrice de thèse
Professeure, Aix-Marseille Université

Raphaël MIZZI — Co-directeur de thèse
Maître de Conférence, Aix-Marseille Université

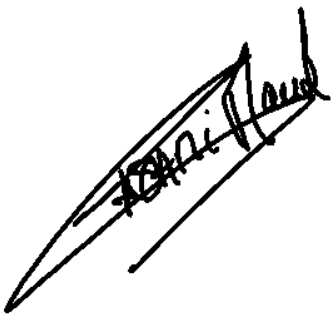
CRPN CENTRE DE RECHERCHE EN PSYCHOLOGIE & NEUROSCIENCES
cnrs
Institut Créativité et Innovations Aix+Marseille Université

Affidavit

Je soussigné, Maud RASAMIMANANA, déclare par la présente que le travail présenté dans ce manuscrit est mon propre travail, réalisé sous la direction scientifique de Pascale COLE et Raphaël MIZZI, dans le respect des principes d'honnêteté, d'intégrité et de responsabilité inhérents à la mission de recherche. Les travaux de recherche et la rédaction de ce manuscrit ont été réalisés dans le respect à la fois de la charte nationale de déontologie des métiers de la recherche et de la charte d'Aix-Marseille Université relative à la lutte contre le plagiat.

Ce travail n'a pas été précédemment soumis en France ou à l'étranger dans une version identique ou similaire à un organisme examinateur.

Fait à Marseille, le 9 janvier 2025



Cette œuvre est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Liste de publications et participation aux conférences

Liste des publications réalisées dans le cadre du projet de thèse :

1. Rasamimanana, M., Mizzi, R., Melmi, J.-B., Saffi, S., Colé, P. (in revision). Is comprehension in comics more effective than in traditional texts in adult skilled readers? An eye movement-based study.
2. Rasamimanana, M., Mizzi, R., Melmi, J.-B., Saffi, S., Colé, P. (submitted). Can picture in comics facilitate access to written information in university students with dyslexia? An eye-movement study.
3. Rasamimanana, M., Mizzi, R., Guinet, J., Melmi, J.-B., Colé, P. (submitted). Reading comics needs better decoding skills than reading texts in 2nd and 3rd graders.

Participation aux conférences au cours de la période de thèse :

1. Rasamimanana, M., Mizzi, R., Colé, P. (2024, June). Faciliter l'accès à l'information chez les étudiants dyslexiques grâce à la bande-dessinée. AY11, Paris, France. [Communication Orale]
2. Rasamimanana, M., Mizzi, R., Colé, P. (2023, June). Faciliter l'accès à l'information chez les étudiants dyslexiques et lecteurs typiques grâce à la bande-dessinée. Journée des Doctorants de l'InCIAM, Aix-en-Provence, France. [Communication Orale]
3. Rasamimanana, M., Mizzi, R., Colé, P. (2023, May). Reducing inequalities in access to knowledge between students with dyslexia and typical readers with comics. Colloque Éducation et inégalités, Paris, France. [Communication Orale]

4. Rasamimanana, M., Mizzi, R., Constans, A., Saffi, S. & Colé, P. (2022, August) Reading comprehension in comics: A study using eye movements. ESCOP 2022, Lille, France. [Poster]
5. Colé, P. & Rasamimanana, M. (2022, October). La recherche sur l'adulte dyslexique de niveau universitaire : Quels apports pour la compréhension et la prise en charge de la dyslexie ? E-Rencontres Internationales d'Orthophonie de l'UNADREO. [Communication Orale]
6. Rasamimanana, M., Constans, A., Saffi, S., Colé, P. & Mizzi, R. (2021). La bande dessinée, un outil pour faciliter la compréhension d'un message écrit ? Journées d'étude sur la BD et l'enseignement, Bordeaux, France. [Communication Orale]

Résumé

Les processus cognitifs engagés dans la compréhension en lecture ont été majoritairement étudiés avec des textes classiques (sans image associée), et nous disposons de très peu de connaissances sur ceux impliqués dans la lecture de bandes dessinées. Pourtant, les caractéristiques de la BD (notamment les images) pourraient faciliter les processus de compréhension de ce qui est lu par rapport à la lecture d'un texte classique, particulièrement en l'absence de capacités de décodage efficientes. L'objectif principal de cette thèse était de tester cette hypothèse et d'identifier certains des processus impliqués dans l'amélioration des performances de compréhension de bande dessinée.

Trois études expérimentales, combinant des mesures comportementales et oculométriques, ont été conduites auprès d'enfants en cours d'apprentissage de la lecture, d'adultes lecteurs typiques et d'adultes dyslexiques étudiants à l'université. Nous avons mis en évidence que la bande dessinée n'était pas adaptée à tous les lecteurs pour faciliter les processus de compréhension en lecture. Les résultats suggèrent que les enfants apprentis lecteurs doivent avoir développé des habiletés de décodage suffisamment efficientes pour bénéficier du traitement simultané des images et des mots des bulles dans la bande dessinée. À l'inverse, pour les adultes lecteurs typiques et dyslexiques, le traitement du contenu de l'histoire serait plus rapide pour la bande dessinée par rapport au texte, avec un niveau de compréhension similaire pour les deux formats. Le traitement des images permettrait d'extraire plus facilement les informations pertinentes pour

comprendre l'histoire lue. Plus précisément, la bande dessinée serait particulièrement adaptée aux étudiants dyslexiques en réduisant les différences de temps nécessaire pour lire l'ensemble du support par rapport aux étudiants normolecteurs. Ainsi, pour les adultes lecteurs typiques et dyslexiques, le traitement de l'image permettrait d'élaborer rapidement une représentation sémantique de ce qui est lu et de l'utiliser pour décoder le message verbal des bulles. Toutefois, le traitement des images interviendrait de façon plus importante dans les processus de compréhension pour les adultes dyslexiques que chez les lecteurs typiques.

Enfin, les modèles dits à double-codage sont actuellement les plus utilisés pour étudier le rôle du traitement de l'image dans les processus de compréhension de lecture, mais ne permettent toutefois pas d'expliquer pourquoi certaines populations, et pas d'autres, bénéficient des images de la bande dessinée. Nos travaux suggèrent que des modèles décrivant les différences et similitudes de traitement entre les images et les mots seraient devraient être privilégiés.

Mots-clés : Compréhension écrite, bande-dessinée, oculométrie, apprentis lecteurs, adultes lecteurs typiques, étudiants dyslexiques

Abstract

The cognitive processes involved in reading comprehension have mostly been studied using classical texts (without associated images), and we have very limited knowledge about those engaged in the reading of comic books. Yet, the specific characteristics of comic books (notably the images) could facilitate comprehension processes compared to reading a classical text, particularly in cases where decoding skills are not fully efficient. The main objective of this thesis was to test this hypothesis and to identify some of the processes involved in improving comprehension performance through comic books.

Three experimental studies, combining behavioral and eye-tracking measures, were conducted with children learning to read, typical adult readers, and dyslexic adults attending university. We found that comic books may not not suitable for all readers to enhance reading comprehension processes. The results suggest that efficient decoding skills may be necessary for children learning to read in order to benefit from the simultaneous processing of images and the words in the speech balloons of comic books.

In contrast, for adult readers with and without dyslexia, processing appears to be faster for comic books compared to traditional text, with a similar level of comprehension for both formats. Picture processing seems to allow easier extraction of relevant information for understanding the story. More specifically, comic books appear particularly well-suited to students with dyslexia, as they help reduce the differences in reading time required for the entire material compared to typical readers. Thus, for both readers with and without dyslexia, picture processing enables the rapid construction of a semantic representation of the story's content, which can then be used to decode the verbal

message in the speech balloons. However, picture processing seems to play a more significant role in comprehension processes for dyslexic adults than for typical readers.

Finally, dual-coding models are currently the most widely used to study the role of picture processing in reading comprehension processes. However, they do not explain why some populations benefit from comic book images while others do not. Our findings suggest that models describing the differences and similarities between the processing of images and words should be prioritized.

Keywords: Reading comprehension, comics, eye movements, children learning to read, typical adult readers, students with dyslexia

Remerciements

Mes tout premiers remerciements vont aux membres de mon jury : **Eric Jamet** et **Fabienne Chetail**, qui ont accepté d'être rapporteur et rapporteuse de ce travail de thèse ; **Valérie Gyselinck** et **Eddy Cavalli**, examinateur et examinatrice ; et **Lucile Chanquoy**, présidente du jury et dont le modèle a fortement influencé mes travaux. J'espère que vous éprouverez autant de plaisir à lire ce manuscrit que ce que j'ai eu à travailler sur ce sujet c'est 4 dernières années.

Mes plus sincères remerciements vont ensuite à **Pascale**. Notre aventure scientifique a commencé en 2017, et pendant ces 7 dernières années, tu as su me transmettre ta passion pour la lecture et pour la recherche en général. Je te remercie d'avoir cru en moi et de m'avoir donné la possibilité de réaliser cette thèse. Je te remercie également de toujours avoir trouvé le temps quand il le fallait, et ce malgré des emplois du temps chargés. Je tiens également à exprimer toute ma gratitude à **Raphaël.** Votre patience, votre pédagogie et votre diplomatie ont considérablement contribué au bon déroulement de cette thèse. Vous avez toujours répondu présent lorsque j'en avais besoin, et j'en suis très reconnaissante. À tous les deux, vous avez formé un formidable duo, complémentaire sur bien des aspects, et surtout bienveillant. Vous avez su me donner les outils, mais aussi l'indépendance nécessaire pour que je puisse m'épanouir pleinement dans cette thèse.

Je remercie également l'**InCIAM** d'avoir accepté de financer mes travaux de thèse. Je m'estime chanceuse d'avoir pu bénéficier du cadre de l'institut pour travailler sur ce sujet passionnant qu'est la BD. Plus particulièrement, je remercie sincèrement **Nathalie**

Bonnardel, sa directrice qui a suivi ma thèse de près au travers des CSIT, pour ses retours toujours bienveillants sur mon travail.

Je souhaite également remercier chaleureusement une stagiaire exceptionnelle, **Johanna Guinet**. Tu as abattu un travail titanesque pendant les trois années où on a travaillé ensemble et je t'en suis infiniment reconnaissante. Tu m'as aidé sur tellement d'aspects que je ne pourrai pas tous les citer. J'admire ton courage, ta volonté et ton engagement dans tes études et ton travail.

Le laboratoire d'accueil joue un rôle particulier dans la réussite d'une thèse, et mon expérience au sein du CRPN, et plus particulièrement au sein de l'ex-LPC, en est un merveilleux exemple. J'adresse un grand merci à l'équipe Atypics, et plus particulièrement à **Marlène Abadie**, pour sa bonne humeur et ses retours constructifs sur mes études, que ce soit en réunion ou en CSIT ; **Jeremy Benna** pour les échanges toujours passionnants et **Isabelle Régner** pour m'avoir donné des opportunités de m'intéresser à d'autres aspects passionnant de la cognition. J'ai également eu la chance de faire partie de l'équipe SMP. Merci à **Aurélie Calabrèse** et **Eric Castet** pour l'aide que vous m'avez apportée sur l'analyse de mes données oculométriques et tout le reste de l'équipe, **Françoise Vitu**, **Laurence Mouchnino** et **Jean Blouin**, pour les réunions d'équipe passionnantes et passionnées. J'aimerais également remercier **Abdessadek El Ahmadi**, qui a été d'une aide précieuse sur les analyses statistiques, et pour ses enseignements tout au long de mon parcours universitaire, qui ont grandement participé à mon intérêt pour la méthode scientifique. Un merci tout particulier à **Mireille Besson**, qui m'a encadré pendant tout mon master, et qui m'a conforté dans mon envie de faire de la science. Enfin, le LPC n'aurait pas été le LPC sans ses deux piliers, **Frédéric** et **Colette**. Vous avez été d'une formidable aide administrativement, mais surtout humainement.

J'ai eu la chance de partager avec mes collègues du laboratoire beaucoup des moments riches scientifiquement, mais aussi moments de convivialité qui ont aussi été particulièrement importants pour moi. J'aimerais donc remercier **tous les doctorants, les post-docs, les ingénieurs** et **les stagiaires** qui ont rendu ces moments possibles et agréables. Un merci à notre maman adoptive, **Clara**, de prendre soin de nous au quotidien. **Eole**, merci pour ton implication dans la vie du labo, et pour ton naturel rafraîchissant. **Caroline**, merci d'avoir ensoleillé nos journées au labo. En vrac, un grand merci à **Siham, Rayan, Lise, Jules, Floor, Marielle, Lucie, Justine, Jade, Maureen, Angélique, Rémi, Aurélien, Camille B., Benjamin,** les anciens, **LaureTo, Kim, Camille G., Ladislas, Eva,** et tous ceux que j'oublie, pour les échanges scientifiques et personnels enrichissants. Vous êtes le cœur de la vie de ce laboratoire.

Plus particulièrement, je remercie **JP** pour toutes les motivations apéros, jeux de société et soirée chez tes parents. Je garderai un souvenir exceptionnel de ces moments partagés. **Anaïs**, je voulais te remercier pour ces 4 années passées à tes côtés. Ta présence dans les bons et les mauvais moments a été essentielle pendant cette thèse. Merci à **Lea,** ta douceur, ton empathie et ta joie de vivre rende ce monde meilleur. Merci également à **Margaux**, tu as égayé la vie au labo de ton sourire rayonnant et de ta personnalité exceptionnelle. **Camille**, merci d'avoir été un exemple de résilience et de motivation pour moi tout au long de ces années. Je ne compte pas tous les bons moments passés avec vous tous, alors merci pour les soirées Cagole Nomade, les Mario Kart, les paillettes, les repas aux Flower Burger, les aprèms piscines, les innombrables apéro, et tant d'autres moments partagés. Vous avez rendu ma vie au labo tellement plus douce.

Et comment parler de la vie au laboratoire sans parler des pauses clopes, et des formidables personnes qui les accompagnent ? Merci **Cassandre**, pour notre petit rituel café-clope matinal de ces derniers mois. Tu me donnes la force de traverser toutes ces

dures matinées un peu plus sereinement. Ton soutien a été particulièrement précieux dans les moments difficiles. Merci également à tous les autres copains de la pause clope, **Paul,** l'adorable Yesman qui s'intègre au laboratoire plus vite que son ombre, **Diya,** dont les conversations sont systémiquement passionnantes, **Régis,** avec qui j'attends toujours de faire une pétanque, **Ambre**, ses soirées vins, et son sa fêtardise sans pareil, et tous les autres avec qui j'ai pu partager mes quelques minutes de détente quotidiennes. Vous avez su me remotiver à aller bosser quand les pauses s'éternisaient, et pour ça je vous remercie.

Parce qu'entre les apéros et les pauses clopes, j'ai aussi passé un peu de temps dans mon bureau, j'aimerais aussi remercier les merveilleuses personnes avec qui j'ai partagé mon espace de travail. Merci à toi **Leo**, mon voisin dans le labo, mais aussi dans la vie civile. J'ai adoré passer ces années à tes côtés, et je te remercie pour tout ce que tu as fait et continues à faire pour que ce laboratoire soit un meilleur endroit. Je garderai un souvenir précieux des moments passés ensemble, que ce soient les bières partagées entre Aix et Marseille, ou les aventures à Nancy. **Elisa**, tu as été une colloque de bureau génialissime, et voir ta petite tête derrière mes écrans me manque tous les jours. Merci d'avoir été une si bonne collègue de galère. **Jacob,** merci pour la vie que tu mets dans ce bureau. J'ai adoré suivre les aventures de tes plantes et tes péripéties avec l'EEG. Vous avez tous les trois grandement participé à mon épanouissement dans ce laboratoire, en me donnant un cadre motivant et agréable pour travailler au quotidien, et pour ça je ne pourrais jamais vous remercier assez.

Pour conclure sur cette formidable vie au labo, je tiens à adresser un merci particulier à **JB**, aka l'insupportable petit frère. En écrivant ces remerciements, je me suis rendu compte que tu étais une constante dans ma vie au labo. Alors, merci pour toute l'aide que tu m'as apportée pour sur l'oculométrie, pour les longues heures de travail dans le box Eyelink ou à essayer de faire fonctionner cet insupportable GP3. Merci aussi pour toutes

ces pauses clopes passées à m'écouter me plaindre, ou à te plaindre du mauvais temps. Tu as paradoxalement rendu la vie au laboratoire bien plus que supportable.

Si le laboratoire a été une partie essentielle de ma vie pendant ma thèse, je n'aurais pas pu finir cette thèse sereinement sans mes amis et ma famille. Alors je tiens à remercier **les fratés**, de m'avoir accueilli parmi vous comme si j'avais toujours été là, et pour tous les week-ends passés avec vous qui m'ont permis de m'échapper. Un grand merci à **Lina,** tu es une inspiration de tous les jours pour moi, et j'admire ta capacité à renaître de tes cendres. **Lou**, j'ai beaucoup appris en grandissant à tes côtés, merci pour ton écoute attentive et ton soutien indéfectible. **Lila** et **Neige**, nos rendez-vous mensuels ont été une bouffée d'air frais ces derniers mois, merci d'être toujours présentes à mes côtés. **Morgane**, je ne sais pas comment j'aurais tenu ces quatre années sans nos soirées Martini. Mille mercis à **mes frères**, que j'admire pour les belles personnes qu'ils sont. Un grand merci aussi à **mes parents.** Je n'aurais pas réussi sans votre soutien.

Et pour finir, merci **Clément**. Je pourrais dire à quel point je suis reconnaissante de la patience que tu as avec moi, de ta bienveillance, de ton écoute, de tes efforts quotidiens pour me rendre la vie la plus facile possible, des journées entières passées à mes chevets quand j'étais malade, des heures passées à coder des programmes de corrections des fixations, où à corriger des scripts R. Je pourrais parler des merveilleuses vacances que l'on a passé ensemble, loin des tracas du boulot, des balades à vélo, des concerts, des week-ends … Mais je ne peux pas énumérer toutes les choses que tu fais ou que tu as faites pour moi, et pour lesquelles je te remercie. Alors je te dirai simplement que je t'aime, et que j'ai hâte de tourner cette page pour en écrire une autre à tes côtés.

Table des matières

Affidavit ... **3**
Liste de publications et participation aux conférences ... **5**
Résumé ... **7**
Abstract ... **9**
Remerciements ... **11**
Table des matières ... **17**
Introduction générale ... **21**
Chapitre 1 : De l'apprentissage de la lecture à la lecture experte ... **27**

1.1. Le développement des habiletés de décodage et de compréhension orale pour la compréhension de textes classiques ... *28*
1.1.1. Le modèle simple de la lecture ... 28
1.1.2. La dynamique développementale de la relation entre les habiletés de décodage, de compréhension orale et de compréhension écrite ... 31

1.2. L'implication de l'identification des mots écrits, des connaissances et de la mémoire de travail dans la construction d'une représentation mentale du contenu d'un texte ... *33*
1.3. La dyslexie développementale chez les étudiants à l'université ... *37*

Chapitre 2 : La compréhension en lecture de textes multimédias et bandes dessinées ... **41**

2.1. La BD et les supports multimédias : similarités et différences ... *42*
2.2. Les supports multimédias : le rôle du traitement de l'image ... *46*
2.2.1. L'apport de l'image pour l'élaboration d'une représentation mentale du contenu de l'histoire 47
2.2.2. L'apport de l'image pour le traitement de la composante verbale ... 52

2.3. La lecture BD : des données rares et contradictoires ... *57*
2.3.1. La lecture de BD chez les apprentis lecteurs ... 58
2.3.2. La lecture de BD chez les adultes normolecteurs ... 63
2.3.3. La lecture de BD chez les étudiants avec une dyslexie ... 65

2.4. Objectifs et hypothèses ... *66*

Chapitre 3 : De meilleures capacités de décodage sont nécessaires pour lire une BD que pour lire des textes « traditionnels » chez des enfants de CE1 et CE2 ... **71**
Article 1 : Reading comics needs better decoding skills than reading texts in 2nd and 3rd graders ... **73**

3.1. Introduction ... *79*
3.3.1. Reading comprehension in comics and illustrated text ... 79
3.3.2. The present study ... 81

3.2. Method ... *83*
3.2.1. Participants ... 83

3.2.2. Materials 85
3.2.3. Procedure 85

3.3. Results 86
3.3.1. Reading comprehension scores 86
3.3.2. Exploration time 88

3.4. Discussion 89
3.4.1. Comics do not enhance second and third graders' comprehension performances 89
3.4.2. Decoding skills have a greater influence on comprehension in comics than texts 91
3.4.3. Implications and future directions 92

References 94

Pour aller plus loin 99

3.5. La lecture de BD et de texte : Premières données oculométriques 101
3.5.1. Objectifs et hypothèses 101
3.5.2. Méthode 103
3.5.3. Résultats 105
3.5.4. Discussion et conclusion 108

Chapitre 4 : La compréhension en lecture de BD est-elle plus facile qu'en lecture de texte classique pour des lecteurs experts adultes ? 111
Article 2 : Is comprehension in comics more effective than in traditional texts in skilled adult readers? An eye movement-based study 115

4.1. Introduction 120
4.1.1. How do we read/process comics? 121
4.1.2. The Present Study 124

4.2. Materials and methods 128
4.2.1. Participants 128
4.2.2. Materials 129
4.2.3. Procedure 131
4.2.4. Eye movements 131

4.3. Results 132
4.3.1. Do comics facilitate the elaboration of the representation of the content of the story? . 132
4.3.2. How do comics help comprehension? 133
4.3.3. How do we integrate the pictorial and verbal components of comics? 138

4.4. Discussion 139
4.4.1. Do comics facilitate the elaboration of the representation of the content of the story? . 140
4.4.2. How do comics help comprehension? 142
4.4.3. How do we integrate pictorial and verbal components of comics? 144
4.4.4. Limitations and future directions 145

Chapitre 5 : L'image dans la BD rend-elle la lecture plus accessible pour des étudiants dyslexiques de niveau universitaire ? 157
Article 3 : Reading comics needs better decoding skills than reading texts in 2nd and 3rd graders 159

5.1. Introduction 163
5.1.1. Text reading comprehension in students with dyslexia 163

5.1.2. Do multimedia and comic formats facilitate reading comprehension in individuals with dyslexia? 165
5.1.3. The present study 167

5.2. Method *171*
5.2.1. Participants 171
5.2.2. Materials 174
5.2.3. Procedure 175
5.2.4. Eye movements 175

5.3. Results *176*
5.3.1. Text and comic reading comprehension 176
5.3.2. Word processing in comics' balloons and texts 177
5.3.3. Processing and integrating pictures and words when reading comics 179

5.4. Discussion *186*
5.4.1. Text and comic reading comprehension 186
5.4.2. Word processing in comics' balloons and texts 188
5.4.3. Processing and integrating pictures and words when reading comics 189

Chapitre 6 : Synthèse et discussion des résultats 203

6.1. Synthèse des résultats *204*
6.1.1. Chez les enfants en cours d'apprentissage de la lecture 204
6.1.2. Chez les adultes normolecteurs 206
6.1.3. Chez les adultes dyslexiques 209

6.2. Implications pratiques et théoriques *213*
6.2.1. La BD : pour quelles populations ? 213
6.2.2. Les processus impliqués dans la lecture de BD 217

Conclusions 225
Bibliographie 229

Introduction générale

Comment traite-t-on les supports composés à la fois de mots et d'images ? La majorité des études sur la compréhension en lecture se sont focalisées sur les textes classiques, sans images, et les connaissances sur le traitement des supports de lecture comprenant des images sont limitées. Pourtant, du fait de sa manière unique de combiner ces deux types de canaux pour raconter des histoires et éduquer les jeunes et les moins jeunes, la bande dessinée (ci-après, « BD ») rencontre un succès international. En 2023, la BD représentait 16,7 % des parts du marché du livre français (Syndicat National de l'Edition, 2023). Les BD à visée éducative connaissent un essor particulier, marqué par le récent succès de la BD de vulgarisation *Un Monde sans fin* de J.-M. Jancovici et C. Blain, qui discute des problématiques liées aux limites énergétiques de notre monde. La recherche académique s'intéresse également de plus en plus à la bande dessinée. Une recherche sur le moteur académique Web of Science montre que les articles contenant dans leur titre les mots « comics » ou « graphic novels » augmentent depuis le milieu des années 2000 (100 articles en 2005), pour atteindre son maximum en 2019 (569 articles). Les articles publiés dans le domaine de la psychologie sont cependant très rares, ce qui explique le peu de connaissances que nous avons sur les traitements cognitifs impliqués dans la lecture de BD.

Une des premières difficultés à laquelle se heurte la recherche se trouve dans la définition du support BD. McCloud (1993) en donne une définition large en qualifiant la

BD d'« images picturales et autres[1] juxtaposées dans une séquence délibérée, destinée à transmettre des informations et/ou produire une réponse esthétique chez le lecteur ». Cette définition soulève deux points intéressants pour l'étude des BD. Premièrement, une BD ne contient pas obligatoirement de mots, les images picturales seules peuvent produire du sens. Le terme de « narration visuelle » fait référence à l'histoire racontée par une succession d'images picturales, et est souvent utilisé dans le cas où la BD ne comporte pas de mots. Nous avons toutefois décidé de nous intéresser aux BD qui contiennent des mots pour deux raisons. La première est qu'elles représentent la forme la plus courante de BD. La deuxième est qu'elles sont un support complexe, du fait de l'utilisation de plusieurs images sur une même page (ou planche), et de bulles permettant d'intégrer la composante verbale (les mots) à la composante visuelle (les images). Cette forme de BD se classe ainsi dans les supports multimédias, c'est-à-dire les supports qui utilisent des mots et des images.

Deuxièmement, la BD est composée d'images séquentielles : les images se suivent pour raconter une histoire. En ce sens, la BD pourrait permettre de répondre à des questions intéressantes sur la gestion de ces deux canaux de communication (pictural et verbal), sur un support dont la complexité dépasse celle des formes plus classiques de supports multimédias écrits, comme les manuels scolaires ou les journaux, qui contiennent généralement une image, ou plusieurs images sans narration visuelle, spatialement séparée du contenu sémantique écrit auquel elles réfèrent.

Les pédagogues et les chercheurs soulignent souvent que les textes multimédias, comparés aux textes classiques dépourvus d'images, facilitent la compréhension en lecture et l'apprentissage (Mayer, 2009; McVicker, 2007). La BD différant des supports

[1] Dans cette définition, McCloud inclut les lettres formant les mots dans les images « autres ».

multimédias sur bien des aspects, cette thèse poursuit deux objectifs principaux. Notre premier objectif était de déterminer si la BD peut faciliter les processus de compréhension par rapport à un texte classique. Plus précisément, nous nous sommes demandé si l'apport de la BD pour la compréhension d'une histoire différait en fonction des populations étudiées. Un deuxième objectif était d'identifier les processus qui permettent, ou non, ces effets de facilitation et, plus précisément, de déterminer le rôle de l'image dans la compréhension en lecture de BD.

Dans une première partie théorique, nous avons utilisé les connaissances issues des études en compréhension de textes classiques (Chapitre 1) comme cadre de référence pour mieux comprendre les processus impliqués dans la lecture de supports multimédias et de BD (Chapitre 2). Dans une partie expérimentale, nous avons ensuite étudié la lecture de BD chez des enfants en cours d'apprentissage de la lecture (Chapitre 3), chez des adultes normolecteurs (Chapitre 4) et chez des étudiants dyslexiques de niveau universitaire (Chapitre 5). Enfin, dans une dernière partie (Chapitre 6), nous avons proposé une discussion générale de nos résultats, et de leurs implications pratiques et théoriques.

Chapitres Théoriques

Chapitre 1 :
De l'apprentissage de la lecture à la lecture experte

Pour déterminer quelles habiletés sont impliquées dans la lecture de BD et quelles spécificités présentent le traitement de son contenu, il est essentiel de comprendre dans un premier temps quels sont les habiletés et traitements cognitifs impliqués dans la compréhension en lecture de texte classique et comment ceux-ci se développent. Les recherches sur la compréhension écrite se sont majoritairement concentrées sur des textes classiques, offrant une vision approfondie des processus cognitifs impliqués dans la compréhension en lecture de texte classique. Ces études ont permis de proposer des modèles théoriques solides sur lesquels il est possible de s'appuyer pour mieux comprendre les mécanismes à l'œuvre lors de la lecture de BD, et pour comprendre comment les images vont influencer ces processus.

L'objectif de cette thèse est de déterminer si la BD facilite les processus de compréhension de ce qui est lu, et quels sont les processus impliqués dans cette facilitation. Nous formulons l'hypothèse générale que la nature de ces processus varie en fonction du niveau d'expertise du lecteur. Nous avons ainsi choisi trois populations de lecteurs : des enfants en cours d'apprentissage de la lecture, des adultes lecteurs typiques et des adultes dyslexiques.

Le modèle simple de la lecture (Gough & Tunmer, 1986; Hoover & Gough, 1990; Tunmer & Chapman, 2012) a été massivement utilisé pour étudier le développement de la compréhension écrite en tenant compte du niveau des habiletés de décodage et de compréhension orale des lecteurs. Ce modèle servira de cadre pour expliquer les performances en compréhension en lecture de BD chez les enfants apprentis lecteurs (voir Chapitre 3 :). Ainsi, dans une première partie, nous décrirons ce modèle, et les connaissances sur le développement de la compréhension écrite qui en sont issues. Pour compléter les apports théoriques du SVR, nous décrirons ensuite les travaux de Perfetti et ses collaborateurs, qui soulignent l'importance de l'identification des mots écrits, des connaissances générales et linguistiques et de la mémoire de travail pour la compréhension écrite. L'ensemble de ces connaissances nous conduira à fournir un cadre explicatif des performances de compréhension en lecture des adultes dyslexiques, qui prenne en compte à la fois des déficits et des compensations potentielles.

1.1. Le développement des habiletés de décodage et de compréhension orale pour la compréhension de textes classiques

1.1.1. Le modèle simple de la lecture

Pour faciliter l'étude de la compréhension de texte, Gough et Tunmer (1986) ont proposé le modèle « simple » de la lecture. Ce modèle s'est imposé comme le modèle de référence pour l'étude des habiletés cognitives impliquées dans la compréhension en lecture de texte classique. D'après le SVR, la compréhension écrite est le produit de deux composantes, le décodage et la compréhension orale. Le décodage est initialement défini par les auteurs comme la capacité à reconnaître les mots écrits, et peut donc être mesuré au travers de tâche de lecture de mots isolés. Toutefois, certains auteurs considèrent que

le terme décodage réfère à la capacité de traduire des informations visuelles, les graphèmes, en des sons langagiers, les phonèmes, alors mesurée par des tâches de lecture de pseudomots (Kirby & Savage, 2008). La compréhension orale ou linguistique est la capacité à utiliser des informations lexicales, au niveau des mots, pour interpréter des phrases et des énoncés (Hoover & Gough, 1990). La compréhension orale fait appel à plusieurs capacités et connaissances, dont le vocabulaire, la syntaxe, la réalisation d'inférences et la construction de représentations (ou modèles ou schémas) mentales (Kirby & Savage, 2008). Plusieurs tâches peuvent donc être utilisées pour évaluer la compréhension orale, parmi lesquelles on retrouve le plus souvent des tâches de vocabulaire et de compréhension orale (écoute d'un texte), mais aussi des tâches d'analyse morphosyntaxique ou de QI verbal (Ripoll Salceda et al., 2014).

Selon le SVR, le lien entre ces deux habiletés et la compréhension écrite est exprimé par la formule : Compréhension Ecrite (CE) = Décodage (D) x Compréhension Orale (CO). Cette formulation reflète trois hypothèses majeures du SVR. Premièrement, les deux composantes seraient dissociables. Ainsi, on retrouve des troubles neurodéveloppementaux qui touchent l'une ou l'autre des composantes. La dyslexie développementale par exemple se caractérise par des déficits de décodage en l'absence de déficits de compréhension orale. À l'inverse, les troubles spécifiques du langage affectent les capacités de compréhension orale (le vocabulaire et la syntaxe notamment), sans impacter les capacités de décodage. L'indépendance entre les capacités de décodage et de compréhension orale est toutefois à nuancer, puisque les capacités de compréhension orale expliqueraient la compréhension écrite à la fois directement et indirectement, puisque le vocabulaire influencerait les capacités de décodage (Tunmer & Chapman, 2012). Deuxièmement, les deux composantes seraient nécessaires pour la compréhension écrite. Ainsi, si les capacités d'un lecteur sont nulles pour l'une des deux

composantes (D = 0 ou CO = 0), alors la compréhension écrite est nécessairement nulle. Troisièmement, des capacités de décodage parfaites (D = 1) permettraient d'obtenir une compréhension écrite aussi bonne que si le texte était entendu (CE = CO).

Des questions importantes ont été soulevées sur caractère multiplicatif du modèle simple de la lecture. En effet, la compréhension écrite est décrite comme le produit des capacités de décodage et de compréhension orale. Toutefois, Savage et Worlforth (2007) ont montré qu'un modèle multiplicatif (D x CO) n'expliquait pas mieux la compréhension écrite qu'un modèle additif (D + CO) chez des étudiants à l'université présentant des troubles de la lecture. Ainsi, selon les populations, il n'y aurait pas forcément de bénéfice à considérer que la compréhension écrite serait le produit, plutôt que la somme, du décodage et de la compréhension orale.

Finalement, la question des tâches utilisées pour mesurer les capacités de décodage et de compréhension orale est particulièrement importante. En effet, dans une méta-analyse, Ripoll Salceda et collaborateurs (2014) ont mis en évidence que les tâches utilisées pour mesurer les capacités de décodage et de compréhension orale pouvaient avoir une influence sur la relation mesurée entre ces capacités et la compréhension écrite. Pour les mesures de décodage, les tâches mesurant la précision en lecture de mots isolés semblaient avoir un lien plus important avec les performances en compréhension écrite que des tâches de précision en lecture de pseudomots et de texte, ou de fluence en lecture. Les tâches de lecture de pseudomots présentaient le plus de variabilité dans le lien observé entre décodage et compréhension écrite. Pour les mesures de compréhension orale, les résultats étaient similaires pour l'ensemble des tâches utilisées (vocabulaire, tâches morphosyntaxiques, et compréhension de texte écouté), sauf pour les tâches de QI verbal qui semblaient réduire le lien observé entre compréhension orale et écrite. L'utilisation de mesures composites, qui permettent d'allier différents aspects des

capacités de décodage et de compréhension orale pourrait être la méthode la plus efficace pour prédire précisément les performances en compréhension écrite.

1.1.2. La dynamique développementale de la relation entre les habiletés de décodage, de compréhension orale et de compréhension écrite

De nombreuses recherches ont examiné le développement des habiletés de décodage et de compréhension orale et leur rôle dans les performances en compréhension écrite. Dans la méta-analyse de Ripoll Salceda et ses collaborateurs (2014) comprenant 51 études chez des élèves de primaire, les auteurs ont analysé comment le niveau scolaire influençait les relations entre les capacités de décodage et de compréhension écrite et orale. Les résultats suggèrent que l'influence des habiletés de décodage sur la compréhension écrite était plus importante pour les enfants en CP et CE1 ($\rho = .71$), que pour les élèves en CE2 et CM1 ($\rho = .61$), et que pour les enfants en CM2 et 6ème ($\rho = .47$). Au contraire, l'influence des habiletés de compréhension orale sur la compréhension écrite augmentait avec l'avancée en niveau scolaire (respectivement $\rho = .44$, $\rho = .53$ et $\rho = .55$). Il faut toutefois noter que malgré ces tendances, les intervalles de confiance pour la taille des effets observés se chevauchaient entre les différents niveaux scolaires, ce qui ne permet pas de conclure à des différences significatives entre les niveaux.

Plus récemment, une étude à large échantillon (N = 757) confirmait ces tendances chez des enfants du CE2 au CM2 (Lonigan et al., 2018). En effet, les capacités de décodage expliquaient une plus grande part de la variance des performances en compréhension écrite chez les élèves de CE2 que chez les élèves de CM2. Par ailleurs, à partir du CM1, les capacités de compréhension orale étaient plus impliquées dans la compréhension écrite

que les capacités de décodage. Ainsi, la compréhension de l'écrit lors de l'apprentissage de la lecture dépendrait d'abord de la capacité à décoder et identifier les mots. Au fur et à mesure que les enfants automatisent cette capacité, les capacités de compréhension orale seraient impliquées plus fortement dans l'explication des performances de compréhension écrite.

Les supports utilisés pour évaluer la compréhension en lecture exerceraient également une influence sur l'implication des capacités de décodage et de compréhension orale dans les performances en compréhension écrite. Ainsi, chez des enfants de 8 à 18 ans, Keenan et al. (2008) ont comparé l'influence des capacités de décodage et compréhension orale sur la compréhension écrite en utilisant plusieurs tests populaires pour mesurer la compréhension écrite. Les résultats montraient que les compétences en décodage étaient moins impliquées dans les tests utilisant des textes longs que dans les tests impliquant la compréhension de phrases ou de textes courts. Cette différence était particulièrement marquée pour les plus jeunes lecteurs, et réduisait pour les lecteurs les plus âgés. Ainsi, il semblerait que pour la lecture de texte long, le contexte fourni par le texte permettrait de réduire l'implication des capacités de décodage, notamment pour les lecteurs les plus jeunes.

En conclusion, le SVR a permis d'étudier comment les capacités de décodage et de compréhension orale sont impliquées dans les performances de compréhension écrite au cours du développement. Kirby et Savage (2008) soulignent toutefois le manque d'études testant les relations entre les capacités de décodage, compréhension orale et compréhension écrite lorsque des images accompagnent le texte lu, alors même que celles-ci pourraient permettre de compenser des difficultés de décodage.

1.2. L'implication de l'identification des mots écrits, des connaissances et de la mémoire de travail dans la construction d'une représentation mentale du contenu d'un texte

Le SVR permet d'étudier le rôle des capacités de décodage et de compréhension orale dans les performances de compréhension écrite au cours de l'acquisition de la lecture. Toutefois, plusieurs auteurs estiment que ce cadre n'est pas suffisant pour comprendre entièrement les mécanismes complexes impliqués dans la compréhension écrite chez les lecteurs experts ou présentant des difficultés de lecture (Francis et al., 2018; Perfetti et al., 2005), notamment chez les lecteurs adultes présentant des difficultés de décodage. Perfetti et son équipe proposent le Modèle des Systèmes de Lecture, *Reading Systems Framework* (Perfetti et al., 2005; Perfetti & Adlof, 2012; Perfetti & Stafura, 2014) pour compléter les propositions du SVR. Selon ce modèle, les processus d'identification des mots (décodage) et de traitement du langage qui assemblent ces mots en messages (compréhension orale) utilisent des connaissances générales (sur le monde), linguistiques (phonologie, syntaxe, morphologie) et orthographiques (correspondance avec la phonologie). Ainsi, selon ces auteurs, les connaissances générales et des systèmes orthographiques et linguistiques seraient nécessaires aux processus de compréhension.

Par ailleurs, les auteurs considèrent l'identification des mots écrits comme un processus clé de la compréhension écrite. Ils font ainsi l'hypothèse qu'une représentation lexicale de bonne qualité, c'est-à-dire, des connaissances solides sur les formes et le sens des mots, est nécessaire pour la compréhension en lecture (Perfetti, 2007). L'accès au sens du mot déclencherait les processus interprétatifs permettant l'intégration des mots au texte (voir

Figure 1.1). Ainsi, le lexique serait une structure permettant l'interface entre l'identification des mots et la compréhension du texte écrit.

Pour comprendre un texte, identifier les mots qui le composent ne serait toutefois pas suffisant. Les mots sont liés par une syntaxe pour constituer une phrase, et les phrases créent un énoncé ou un discours dont le sens peut être saisi à plusieurs niveaux. Les auteurs s'appuient sur les travaux de van Dijk et Kintsch (1983) qui distinguent trois niveaux de représentation. Un premier niveau permettrait de créer une représentation de surface des informations sur les mots et les structures syntaxiques du texte. Un deuxième niveau permettrait de construire une représentation de base ou représentation textuelle des relations entre les propositions locales du texte. Enfin un dernier niveau permettrait l'élaboration d'une représentation ou modèle de situation basé sur l'ensemble des idées présentées dans le texte (van Dijk & Kintsch, 1983). Ainsi, la lecture experte consisterait à faire appel à l'ensemble de leurs connaissances sur le monde et les systèmes orthographiques et linguistiques, et à utiliser et intégrer ces connaissances et le sens des mots lus pour réaliser des inférences et construire une représentation mentale cohérente du texte lu.

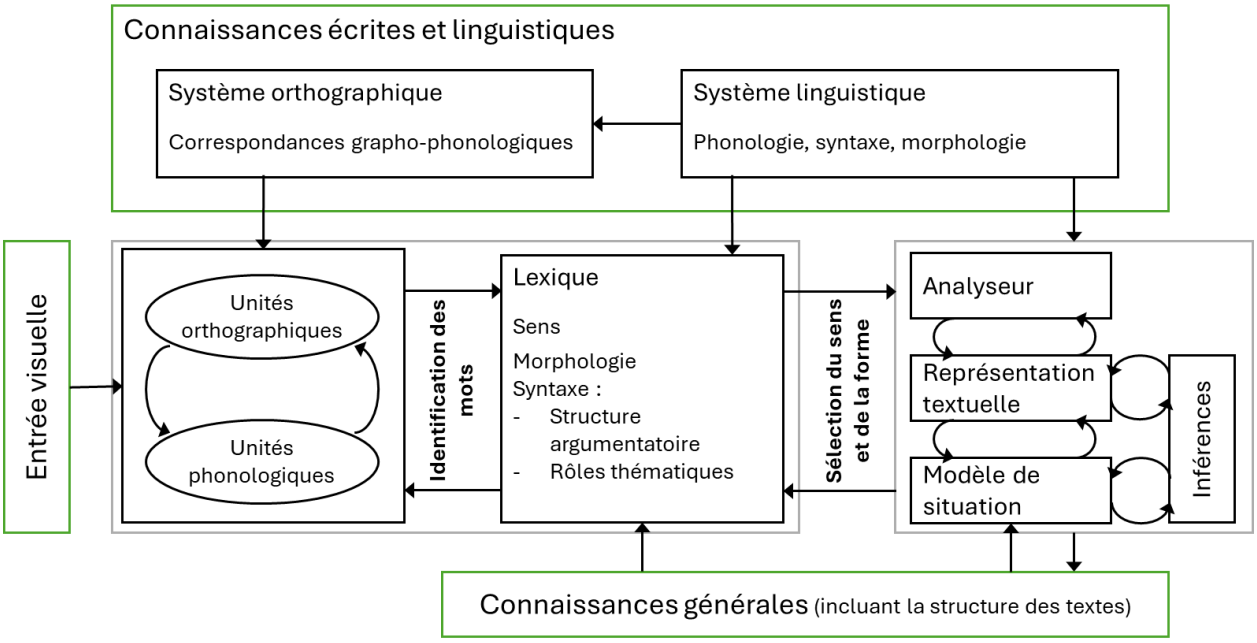


Figure 1.1. Le modèle des systèmes de lecture, adapté de Perfetti et Stafura (2014). L'identification des mots écrits se fait à partir des connaissances lexicales et de la correspondance graphophonologique. Ainsi le lexique sert d'interface entre l'identification

La construction des différents niveaux de représentation demanderait des ressources en mémoire de travail importantes. En effet, il faut se souvenir des mots qui composent la phrase pour construire une représentation de surface, puis utiliser les informations présentées en amont dans le texte pour les intégrer dans un modèle de situation cohérent. Plusieurs études se sont intéressées au lien entre mémoire de travail et compréhension écrite, et ont montré que les capacités des différents systèmes de mémoire de travail (boucle phonologique, calepin visuo-spatiale et centre exécutif ; Baddeley, 1992) avaient une influence positive sur processus de compréhension écrite chez des adultes (Gyselinck et al., 2002) et chez des enfants et adolescents, entre le CP et la terminale (Arrington et al., 2014; Chrysochoou et al., 2011; Dufva et al., 2001; García-Madruga et al., 2013; Nouwens et al., 2021) et sur les processus de décodage chez des enfants (Arrington et al., 2014; Nouwens et al., 2021). Dans une méta-analyse, Peng et ses collaborateurs (2018) ont montré que la contribution des capacités en mémoire de travail pour les performances

de compréhension en lecture était plus importante avant le CM1 que dans les classes ultérieures. Ainsi, les capacités de mémoire de travail seraient particulièrement importantes pour les enfants n'ayant pas encore automatisé les processus de lecture. Par ailleurs, les auteurs ont montré que la contribution unique de la mémoire de travail dans la compréhension écrite disparaissait lorsque les habiletés de décodage et de vocabulaire étaient contrôlées, ce qui suggère que l'influence de la mémoire de travail se fait de manière indirecte, via le décodage et le vocabulaire.

Pour conclure, le modèle des systèmes de lecture apporte des informations intéressantes pour l'étude des BD, puisqu'il permet de préciser les processus en jeu dans la compréhension écrite, et donc de mieux comprendre comment l'image peut influencer ces processus. Nous avons mis en évidence l'importance de l'identification des mots pour la compréhension, mais aussi que ces processus dépendent de connaissances linguistiques, que les images pourraient activer. Par ailleurs, les images pourraient également activer des connaissances plus générales, qui permettraient de faciliter l'élaboration d'une représentation du contenu de l'histoire. Finalement, nous avons également vu que de bonnes capacités de mémoire de travail étaient nécessaires à la compréhension écrite, notamment pour les lecteurs avec des capacités de décodage en développement. La présence d'images pendant la lecture pourrait soit alléger, en facilitant les processus de décodage notamment, soit augmenter la pression des traitements en mémoire de travail, en ajoutant un traitement additionnel pour comprendre l'image et l'intégrer à la représentation du contenu du texte lu.

Par ailleurs, le modèle des systèmes de lecture met en évidence l'influence importante des processus d'identification des mots. D'une part, ces processus permettent de fournir au système les informations nécessaires à la compréhension. D'autre part, ces processus peuvent saturer la mémoire de travail s'ils ne sont pas automatisés, entravant la

compréhension. Pourtant, certains lecteurs, comme les personnes atteintes de dyslexie, présentent des difficultés à développer des habiletés d'identification des mots efficace. Ils peuvent cependant, sous certaines conditions, développer des capacités de compréhension écrites similaires à des lecteurs typiques grâce à l'utilisation de mécanismes de compensation ou d'adaptation, basés en grande partie sur leurs connaissances générales et linguistiques.

1.3. La dyslexie développementale chez les étudiants à l'université

Selon le Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM-5), la dyslexie est un trouble neurodéveloppemental caractérisé par des déficits dans l'exactitude de la lecture des mots, ainsi que par de faibles capacités de décodage et de fluidité de la lecture, et est fréquemment associée à des difficultés de compréhension écrite (American Psychiatric Association, 2013). L'hypothèse la plus largement admise pour expliquer les troubles observés dans la dyslexie est l'hypothèse phonologique, selon laquelle les déficits de reconnaissance de mots écrits seraient consécutifs à des difficultés à traiter les phonèmes, les plus petites unités de sons du langage (Ramus et al., 2003). Ainsi, les lecteurs dyslexiques rencontreraient des difficultés à développer les processus et connaissances nécessaires à la correspondance entre le code orthographique, les graphèmes, et le code phonologique des mots.

La majorité des connaissances sur la dyslexie à l'âge adulte provient d'études impliquant des adultes dyslexiques de niveau universitaire. Bien que cette population ne soit pas représentative de la totalité des adultes dyslexiques, Colé et Sprenger-Charolles (2021) soulignent deux intérêts majeurs à étudier les populations d'adultes dyslexiques étudiant à l'université. Le premier est théorique, il permet d'étudier quels sont les

symptômes irréductibles de la dyslexie, et comment les adultes avec une dyslexie ont mis en place un système de compensation pour répondre (ou qui leur a permis de répondre) aux exigences en lecture présentes en études supérieures. Le deuxième intérêt est d'ordre clinique. Cela permet de développer des techniques de rééducation ou des supports adaptés, sur la base des processus d'adaptation déjà naturellement en place pour compenser leurs déficits.

Plusieurs recherches montrent que malgré des déficits persistants en décodage, en vitesse de lecture, mais aussi dans les capacités phonologiques nécessaires à un décodage efficient, les étudiants dyslexiques à l'université parviennent à obtenir un niveau de compréhension en lecture similaire à celui des étudiants lecteurs typiques, notamment en absence de pression temporelle pendant la lecture (Brèthes et al., 2022; Cavalli et al., 2019; Deacon et al., 2012; Hebert et al., 2018; Lapeyre et al., 2024; Parrila et al., 2007). Quelques études se sont intéressées aux processus compensatoires utilisés par les étudiants dyslexiques à l'université.

Au niveau du mot, il semblerait que l'utilisation des connaissances morphologiques puisse jouer un rôle important dans l'identification des mots écrits chez les adultes dyslexiques. Les morphèmes sont les unités minimales de la langue véhiculant du sens. Par exemple le mot « lecteur » contient deux morphèmes, *lect-*, de « lecture », et *-eur*, « celui qui fait ». Cavalli et al. (2017 a) rapportent une dissociation entre les capacités phonologiques, typiquement déficitaires, et les capacités morphologiques, qui semblent préservées chez les étudiants dyslexiques. L'amplitude de cette dissociation semble être corrélée aux performances en lecture. Par ailleurs, les effets morphologiques sur l'activation neuronale enregistrée par magnétoencéphalographie lors du traitement de mots se manifesteraient plus tôt chez les lecteurs dyslexiques que chez des lecteurs typiques (Cavalli, Colé, et al., 2017 b). Cela témoigne d'une réorganisation des réseaux de

la lecture qui permet aux lecteurs dyslexiques d'accéder plus rapidement au sens des mots. Les connaissances sémantiques sur les mots pourraient également jouer un effet sur la reconnaissance des mots. Ainsi, dans une étude de cas uniques, Cavalli et al. (2016) ont montré que les étudiants dyslexiques ont tendance à être plus efficients que les lecteurs typiques sur une tâche de définition de mots. Ces résultats suggèrent qu'ils pourraient avoir des capacités en vocabulaire plus développé que les étudiants lecteurs typiques, sur lesquelles ils pourraient s'appuyer pour accéder au sens des mots lors de la lecture de texte.

Au niveau de la phrase, Corkett et Parrila (2008) ont montré que l'identification d'un mot cible par des étudiants avec ou sans dyslexie était facilitée lorsque ce mot est présenté dans une phrase fournissant un contexte sémantique congruent avec le mot à identifier. À l'inverse, lorsque le contexte donné par la phrase était incongruent, le mot était plus difficile à identifier pour les étudiants dyslexiques uniquement. Ainsi, les étudiants dyslexiques sembleraient utiliser plus fortement le contexte sémantique phrastique pour préactiver la représentation des mots possiblement rencontrés dans la phrase que les lecteurs typiques.

Enfin, au niveau du texte, Brèthes et al. (2022) ont montré que les connaissances générales expliquaient mieux les performances en compréhension écrite chez les lecteurs dyslexiques que chez les lecteurs typiques. Ainsi, les lecteurs dyslexiques s'appuieraient largement sur ces connaissances pour comprendre le contenu d'un texte. Par ailleurs, les résultats de Cavalli et al. (2019) ont montré que les étudiants dyslexiques se reposeraient sur les indices paratextuels pour faciliter leur compréhension et leur mémorisation de l'histoire lue. En effet, en comparant la lecture d'un texte long sur un livre papier ou sur un support électronique, les auteurs ont montré que les étudiants dyslexiques répondaient moins bien à des questions « Où dans le texte » sur un support électronique

que des étudiants normolecteurs, alors que leurs performances étaient similaires sur un support papier. Ainsi, les sensations sensori-motrices impliquées dans la lecture de livre papier, comme le fait de tourner les pages, sentir et voir le nombre de pages lues, etc., pourraient jouer un rôle important dans le traitement de l'information contenue dans le texte chez les étudiants dyslexiques.

Dans leur ensemble ces résultats montrent que pour obtenir des performances en compréhension écrite similaires aux lecteurs typiques, les lecteurs dyslexiques développent des connaissances sémantiques, sur lesquelles ils pourraient s'appuyer pour combler leur déficit en décodage. Ainsi, les processus d'identification des mots s'appuieraient plus largement sur leurs connaissances lexicales préservées, morphologiques ou sémantiques, et sur le contexte phrastique. La compréhension pourrait également être facilitée par des connaissances sémantiques plus développées, notamment via une influence plus importante du vocabulaire et des connaissances générales, et sur des informations paratextuelles. Il serait donc intéressant de déterminer si les étudiants dyslexiques sont capables de s'appuyer sur des images présentées avec le texte lu, pour activer les connaissances sémantiques nécessaires à la mise en place de ces processus de compensation.

Chapitre 2 :

La compréhension en lecture de textes multimédias et bandes dessinées

Les études sur la compréhension en lecture se sont principalement intéressées aux processus engagés pendant la compréhension de textes classiques. Les connaissances sur ceux engagés dans la lecture de support comprenant à la fois des images et du texte sont encore limitées, particulièrement lorsqu'il s'agit de BD. Ces dernières années, l'intérêt pour les supports multimédias, c'est-à-dire les supports de lecture qui comportent à la fois une composante verbale et une composante imagée, s'est pourtant développé. Ces études se sont toutefois rarement intéressées à la BD, alors qu'elle présente des caractéristiques qui ne sont pas partagées par tous les supports multimédias écrits classiques. Les études sur les supports multimédias fournissent des résultats pouvant en partie se généraliser à la BD, et peuvent donc constituer un cadre de référence pour étudier la question des processus en jeu pendant la lecture de BD, et comment ceux-ci diffèrent de la lecture de textes classiques. L'objectif de ce chapitre est, dans un premier temps, de situer nos travaux dans la littérature relative aux supports multimédias, qui est pertinente pour comprendre le rôle que peut jouer l'image dans la facilitation du traitement du message relayé par la BD. Mieux comprendre les travaux sur les supports

multimédias classiques permettra d'ensuite comprendre dans quelle mesure les conclusions réalisées à partir de l'observation de ces supports peuvent s'appliquer à la BD.

Ce chapitre se divise en quatre parties. Dans la première partie, nous définirons la BD et décrirons en quoi elle se distingue des supports multimédias classiques. Dans la deuxième partie, nous présenterons deux questions centrales pour le traitement des supports multimédias, qui s'étendent au traitement de la BD. La première est de déterminer si l'image permet de faciliter l'élaboration d'une représentation mentale du contenu du support. La deuxième est de comprendre comment le traitement de l'image peut interagir avec le traitement de la composante verbale pour faciliter l'identification des mots. Dans la troisième partie, à partir des résultats disponibles sur la lecture de BD, nous mettrons en évidence les limites de la littérature dans trois populations particulièrement intéressantes, les enfants en cours d'apprentissage de la lecture, les adultes normolecteurs et les adultes dyslexiques. Enfin, dans la dernière partie, nous conclurons ce chapitre sur les objectifs et hypothèses des travaux menés au cours de cette thèse.

2.1. La BD et les supports multimédias : similarités et différences

Un support (ou système ou texte) multimédia comporte deux composantes : une composante verbale et une composante picturale. La composante verbale est composée de mots, qui peuvent être présentés lus ou entendus. La composante picturale peut être composée d'une ou plusieurs image(s), statique(s) ou dynamique(s)[2]. En ce sens, la BD

[2] On parle également de multimédia pour les supports permettant aux lecteurs de naviguer entre différentes pages via l'utilisation de liens hypertextes, comme les sites web. Ici, nous ne faisons pas référence à ce type de support qui peut parfois ne présenter qu'une composante verbale.

est un support de lecture multimédia. Une page (ou planche) de BD est composée de cases, qui contiennent des images auxquelles peuvent être associés des mots, contenus dans des encadrés, pour la narration, ou des bulles, pour communiquer les paroles et pensées des personnages (voir Figure 2.1). Les recherches sur les effets du traitement de l'image sur la mémorisation et la compréhension écrite ont majoritairement utilisé des supports qui ne comportent qu'une seule image (illustrations, schémas, etc.) associée à une phrase ou un paragraphe, de manière similaire aux manuels scolaires, pages de journaux ou affiches publicitaires. Toutefois, les supports multimédias, et la BD plus particulièrement, peuvent présenter des caractéristiques variées, pouvant influencer certains traitements en jeu dans leur compréhension.

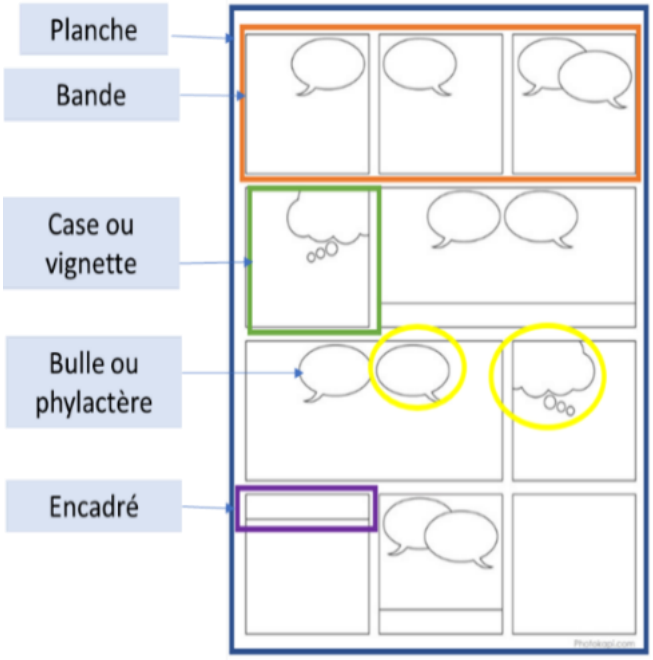


Figure 2.1. Le vocabulaire de la bande dessinée.

La première caractéristique de la BD qui la distingue des autres multimédias écrits classiques est l'utilisation de bulles et d'encadrés qui permettent d'intégrer spatialement des informations verbales aux éléments picturaux, puisque le texte fait partie de l'image. L'organisation spatiale des différentes composantes des supports multimédias

influencerait la compréhension du contenu du texte. Lorsque l'image et le texte sont spatialement proches, les processus d'intégration des images et des mots pendant la compréhension seraient facilités (Johnson & Mayer, 2012). Pour tester cette hypothèse, Yum et al. (2021) ont manipulé le niveau de contiguïté spatiale entre les composantes verbales et imagées chez des adultes de langue maternelle chinoise lisant en anglais. Les résultats montraient de meilleures performances en compréhension lorsque la disposition spatiale des mots et des images était similaire à la BD (voir Figure 2.2). Ainsi, l'utilisation des bulles et encadrés serait particulièrement efficace pour faciliter les processus d'intégration des composantes verbales et imagées pendant la lecture.

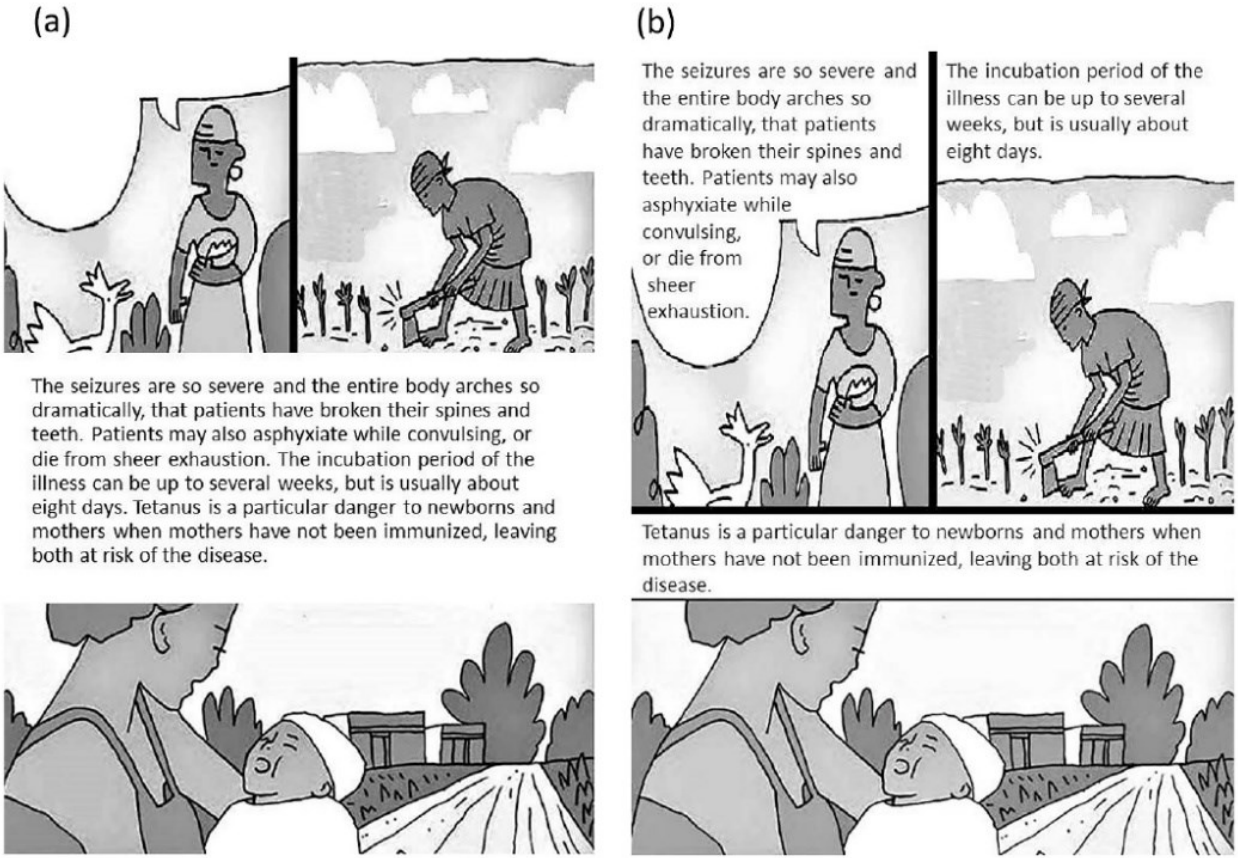


Figure 2.2. Exemple de différents modes de présentations issus de l'étude de Yum et al. (2021), avec l'image et le texte séparé, similaire aux textes multimédias classiques (A), et l'image et le spatialement intégré, similaire à la BD (B).

La seconde caractéristique importante de la BD est qu'elle comporte une juxtaposition d'images dont la disposition permet de transmettre des informations sur le déroulement

de l'histoire lue. Certains auteurs parlent de narration visuelle pour décrire la manière dont les images s'articulent pour créer du sens (Cohn et al., 2012; Magliano et al., 2013). Cohn (2013a) développe le concept de grammaire narrative ou visuelle, selon lequel chaque image jouerait un rôle dans l'arc narratif, comme les mots jouent un rôle dans une phrase. Le schéma narratif canonique constitue l'enchaînement d'éléments narratifs le plus basique. Il se compose de la situation initiale, l'élément perturbateur, les péripéties, l'élément de résolution et la situation finale. Toutes ces étapes ne sont pas nécessaires au déroulement et à la compréhension d'une histoire. La Figure 2.3 illustre comment les images peuvent être utilisées pour mettre en place une structure narrative, à partir d'indices sémantiques comme le type d'actions réalisées par les personnages de l'histoire.

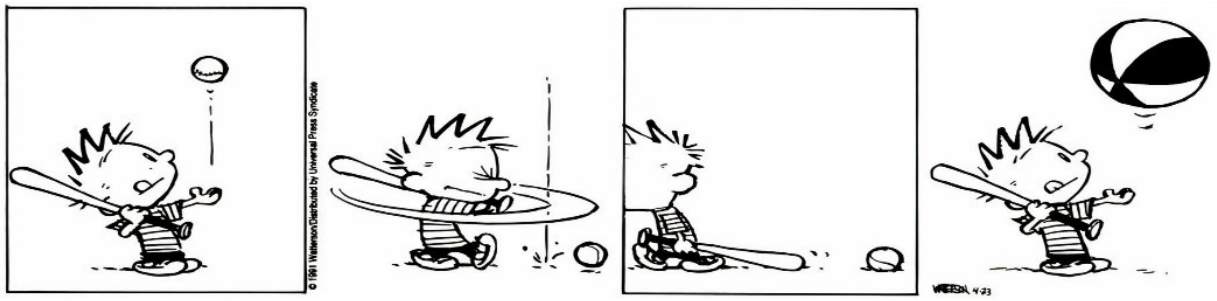


Figure 2.3. Un exemple de narration visuelle issu du comic strip Calvin et Hobbes de Bill Waterson. Ici, la première case correspond à la situation initiale, présentant Calvin jouant avec une balle et une batte de baseball. L'élément perturbateur est représenté dans la deuxième case, avec Calvin qui échoue à taper dans la balle. La troisième case représente les péripéties, Calvin s'éloigne de la balle. Dans la dernière case, la résolution se fait grâce à l'utilisation d'une balle bien plus grosse. L'absence de situation finale ajoute à l'effet comique de ce comic strip.

L'intérêt d'un schéma narratif visuel représenté dans une séquence d'image peut être double pour la compréhension. D'abord, le *gist*, c'est-à-dire la perception globale d'une image, et donc potentiellement le rôle qu'elle joue dans le schéma narratif de l'histoire lue peut être saisi très rapidement, en quelques fixations. En effet, Potter (1975) a montré qu'une durée de présentation de 125 ms était suffisante pour reconnaître le contenu d'une image. L'utilisation de l'électro-encéphalographie a également permis de mettre en

évidence que l'activation des informations sémantiques lors de la présentation d'images sémantiquement reliées pouvait se manifester dans une fenêtre temporelle très précoce, entre 70 et 130 msec après la présentation de l'image (Oppermann et al., 2012). Ainsi, les lecteurs pourraient élaborer une représentation du schéma narratif de l'histoire à partir des séquences d'images contenues dans la BD très rapidement, ce qui pourrait exercer une influence sur les processus en jeu dans le traitement de son contenu sémantique.

2.2. Les supports multimédias : le rôle du traitement de l'image

En dépit des différences entre la BD et les supports multimédias classiques, l'étude de ces supports multimédias a permis de développer un cadre théorique pouvant s'appliquer, au moins en partie, à l'étude de la BD. Certains traitements impliqués dans la création de la représentation mentale du contenu de l'histoire pourraient être similaires entre la lecture de BD et d'autres supports multimédias. Des études sur les supports multimédias suggèrent que le traitement de l'image pourrait également accélérer le traitement des mots du texte qu'elle accompagne, ce qui pourrait également se vérifier dans la BD. Toutefois, il faut noter que la littérature n'est pas homogène, et que les effets de facilitation de l'image pour la compréhension et le traitement de la composante verbale ne sont pas toujours observés. En effet, la compréhension des supports multimédias exigerait le traitement simultané de deux canaux d'information, les images et les mots, ce qui augmenterait la charge cognitive, particulièrement chez les jeunes lecteurs ou les adultes avec des troubles de la lecture. Ainsi, certaines études ont tenté de déterminer quels mécanismes et conditions permettraient au traitement des images de faciliter la compréhension du contenu du support multimédia ou le traitement de la composante verbale.

2.2.1. L'apport de l'image pour l'élaboration d'une représentation mentale du contenu de l'histoire

Pour créer une représentation cohérente du contenu d'un support multimédia, la présence d'images implique des traitements supplémentaires pour créer une représentation du contenu de ces images et intégrer les traitements des images et du texte. Ces traitements supplémentaires pourraient entrainer une augmentation des besoins en ressources cognitives par rapport à un texte classique. Les traitements cognitifs impliqués dans la compréhension de supports multimédias sont donc nécessairement plus complexes que pour la lecture de texte classique. Pourtant, l'utilisation de l'image dans les situations d'apprentissages est apparue comme une évidence, à tel point que cette pratique n'a été questionnée que relativement récemment (Samuels, 1970). Depuis, plusieurs modèles ont été développés pour expliquer comment, malgré les traitements supplémentaires nécessaires à la compréhension des supports multimédias, l'image pourrait aider à la compréhension.

Parmi ces modèles, le plus connu et utilisé est le Modèle Cognitif de l'Apprentissage Multimédia (*Cognitive Theory of Multimedia Learning,* CTML ; Mayer, 2009). Ce modèle se base sur trois hypothèses fondamentales, qu'il propose de prendre en compte lors de la création de supports multimédias à visée pédagogique. La première, l'hypothèse à double-voie, suppose que les informations visuelles/picturales et auditives/verbales sont traitées par deux canaux différents (Paivio, 1986). Des échanges d'informations entre les deux canaux de traitement seraient toutefois possibles, puisque des informations initialement présentées dans une modalité, par exemple des mots écrits, pourraient être traitées dans l'autre canal, dans notre exemple, le canal auditif/verbal (voir Figure 2.4). La deuxième hypothèse est l'hypothèse de la capacité limitée, qui suppose qu'une quantité limitée d'information peut être traitée dans un canal à la fois (Baddeley, 1992), ce qui conduirait

les lecteurs à adopter des stratégies pour allouer leurs ressources cognitives en fonction des supports et des objectifs de lecture. Enfin la dernière hypothèse est l'hypothèse du traitement actif, qui suppose que la construction d'une représentation mentale cohérente nécessite des traitements cognitifs actifs. Le premier serait la sélection des informations verbales et picturales pertinentes pour la tâche. Le deuxième processus serait l'organisation des informations en deux représentations mentales, une verbale et une imagée. Le dernier processus serait l'intégration de ces représentations mentales et des connaissances pour créer une représentation cohérente du contenu du texte. Ces traitements seraient donc similaires pour les deux composantes.

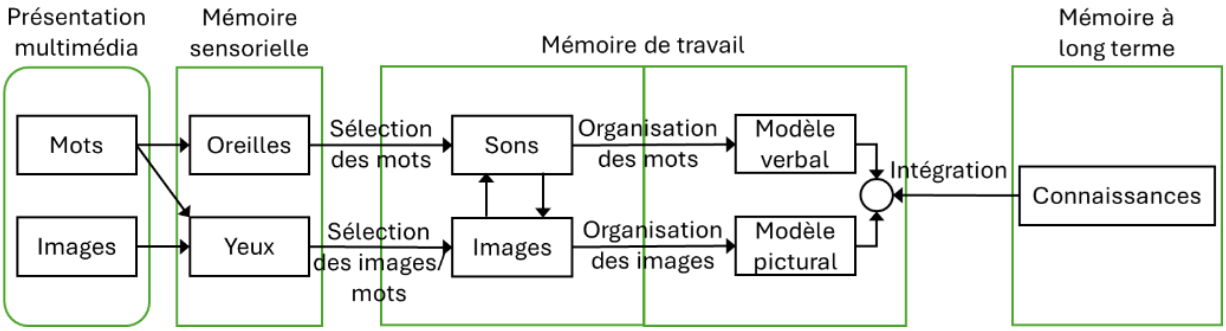


Figure 2.4. Le Modèle Cognitif de l'Apprentissage Multimédia, adapté de Mayer (2009). Les deux canaux de traitement sont représentés, avec en haut le canal auditif/verbal, et en bas le canal visuel/pictural. Les trois processus actifs sont également représentés via des flèches. La sélection permet de choisir les informations qui seront traitées en mémoire de travail, où elles seront organisées en représentations mentales. Celles-ci seront ensuite intégrées, avec les connaissances en mémoire à long terme, pour former une représentation finale du contenu du support.

Sur la base de ce modèle, Mayer (2009) détermine un ensemble de principes à appliquer pour construire des supports qui faciliterait la compréhension et donc l'apprentissage des informations contenues dans le texte. Le plus important est le principe de multimédia, selon lequel la compréhension et donc l'apprentissage du contenu du support seraient plus facile lorsque le contenu verbale est présenté avec des images, que lorsqu'il est présenté seul. En effet, la présence d'image encouragerait le lecteur à créer

un modèle visuel en plus du modèle verbal, et donc à faire des connexions et des inférences lors de l'intégration de ces deux modèles, ce qui permettrait une meilleure compréhension du support.

Dans une méta-analyse examinant les effets de différents types d'illustrations (images ou schémas) sur la compréhension, Guo et al. (2020) ont montré que les illustrations auraient un effet global positif modéré sur la compréhension. Les auteurs ne rapportaient pas de différence en fonction du type de graphique utilisé, les images « réalistes » améliorant aussi bien la compréhension que les schémas. L'utilisation de plusieurs types d'illustrations sur le même support serait tout de même moins efficace que l'utilisation d'un seul type, ce que les auteurs expliquent par un coût cognitif associé au changement de traitement cognitif induit par l'utilisation de plusieurs types d'illustrations. L'effet de l'image était également réduit lors de l'utilisation de questions type Vrai/Faux, comparé d'autres types de mesure de compréhension comme les QCM, ou les questions ouvertes courtes. Les effets des images sur la compréhension ne semblaient pas être plus importants pour les adultes que pour les enfants et adolescents.

Toutefois, cette méta-analyse n'incluait que deux études avec de très jeunes lecteurs, alors que le traitement simultané des composantes verbales et picturales pourrait être particulièrement difficile pour cette population pour laquelle les processus de décodage ne sont pas encore automatisés, et qui a donc besoin d'allouer une grande partie de ces capacités attentionnelles au traitement du message verbal. Dans la première étude, Pike et al. (2010) ont testé la réalisation d'inférences avec des enfants entre le CE1 et la 6ème. Pour cela, ils ont présenté une histoire courte (quelques phrases) dans la langue maternelle des enfants, sous trois conditions : sans image, avec image cohérente ou avec image incohérente. Les enfants en classe de CE1 jusqu'en CM2 réalisaient un plus grand nombre d'inférences correctes en condition image cohérente qu'en condition image

incohérente. Les enfants entre le CE1 et le CM1 réalisaient également plus d'inférences correctes condition image cohérente que sans image. Ainsi, la présence d'images cohérentes avec l'histoire lue pourrait aider les plus jeunes à faire des inférences. La deuxième étude au contraire ne montrait pas de bénéfice des images sur le rappel d'une histoire lue en langue seconde sur un support au format livre d'image classique ou BD, chez des enfants bilingues en CE2 (Chan et al., 2019).

Plus récemment, Seger et al. (2021) se sont appuyés sur les travaux de Van Dijk & Kintsch (1983) pour déterminer quel(s) niveau(x) de construction des représentations du contenu d'histoires courtes (représentations de la surface de texte, de la base de texte ou du modèle de situation ; voir section 1.2) étai(en)t impactée(s) par la présence d'images. Des enfants entre 7 et 13 ans ont ainsi lu de courtes histoires, composés de quelques phrases. Les histoires pouvaient être présentées dans trois conditions : sans images, images présentées avant chaque phrase, images présentées après chaque phrase. Dans l'ensemble leurs résultats ne montraient pas de différence entre les conditions avec ou sans images, mais les enfants construisaient des représentations textuelles plus précises en condition image avant qu'en condition image après le texte. Ces quelques études ne permettent donc pas de conclure sur l'influence de l'image sur le processus de compréhension chez les jeunes enfants, mais les résultats suggèrent que l'image jouerait un rôle différencié en fonction du niveau de représentation du contenu du texte.

Par ailleurs, la question des troubles de la lecture n'était pas abordée dans cette méta-analyse, alors que les adultes dyslexiques sembleraient avoir plus de difficulté à créer une représentation textuelle du contenu d'un support multimédia et à intégrer les composantes verbales et picturales par rapport aux lecteurs typiques (Kim et al., 2018). Lors de la lecture de graphiques (en barre ou en ligne), ils sont également plus lents pour traiter les éléments textuels et picturaux, et ont besoin de revenir plus souvent sur les

éléments picturaux (Kim et al., 2014). Holmqvist Olander et al. (2017) ont comparé les performances en compréhension et les patterns de mouvements oculaires chez des adultes dyslexiques et normolecteurs pendant la lecture de textes courts accompagnés ou non d'une image. Les participants dyslexiques avaient tendance à moins bien répondre aux questions de compréhension lorsque le texte était accompagné d'une image, passaient proportionnellement plus de temps sur les images et, similairement à ce qui a été observé dans l'étude de Kim et al. (2018), faisaient moins de saccades oculaires entre le texte et l'image que les participants normolecteurs. Les auteurs concluent que les participants dyslexiques auraient donc des difficultés à traiter et intégrer les composantes verbales et imagées du support lu. Des résultats comparables ont été observés chez des enfants de CM1 avec de bonnes capacités de lecture, qui faisaient également moins de saccades entre les illustrations et le texte comparés à des adultes (Jian, 2015).

Dans l'ensemble, ces résultats suggèrent que, comme chez les enfants, les adultes avec une dyslexie pourraient manifester des difficultés à traiter les composantes verbales et picturales d'un support multimédia simultanément, du fait de la demande importante en ressources cognitives exigées par la tâche. Une charge cognitive importante ferait émerger des difficultés à élaborer des liens entre les deux composantes du support. Les adultes avec une dyslexie ne bénéficieraient pas de la présence de l'image pour la compréhension. Toutefois, toutes les études ne reproduisent pas ces résultats, puisque certaines rapportent un effet bénéfique de l'image pour la compréhension, dans des proportions similaires aux adultes normolecteurs (Dawson et al., 2021; Wang et al., 2018).

2.2.2. L'apport de l'image pour le traitement de la composante verbale

Le CTML (Mayer, 2009) fournit un cadre théorique intéressant pour construire des supports d'apprentissage, et pour comprendre certains mécanismes qui pourraient expliquer comment les images permettraient d'améliorer la compréhension d'un support écrit. Toutefois, il ignore l'influence du traitement de l'image sur le traitement de la composante verbale. Pourtant, certains auteurs font l'hypothèse que les images pourraient faciliter l'identification des mots écrits dans les supports multimédias, permettant aux lecteurs avec des difficultés de décodage de mieux comprendre le contenu d'un texte écrit (Kirby et al., 2008). Cette idée que la présentation d'une image peut faciliter le traitement des mots n'est pas nouvelle (Sperber et al., 1979). Elle est d'autant plus importante que l'identification des mots écrits joue un rôle central dans la compréhension écrite (Perfetti & Stafura, 2014). Ainsi, certains chercheurs se sont intéressés à l'impact que pouvait avoir la présence d'images sur le traitement de la composante écrite et l'identification des mots écrits dans un contexte multimédia.

Pour étudier l'effet de la présentation d'une image sur la lecture d'un texte, Eitel et al. (2013 a) ont utilisé un texte décrivant la structure et le fonctionnement d'un système de poulie chez des adultes normolecteurs. Le texte pouvait être présenté dans plusieurs conditions : seul, avec un schéma du système de poulie présenté avant (pendant 150 ms, 600 ms, 2 s ou au rythme du lecteur) ou en même temps que le texte. À partir de 600 ms de présentation avant la lecture du texte, l'image permettait d'améliorer la compréhension du contenu du texte, et d'accélérer sa lecture. Par ailleurs, plus le temps passé sur l'image était important, plus la lecture du texte était rapide. L'accélération de la lecture concernait la section décrivant la structure du système, mais pas celle décrivant

son fonctionnement. Dans leur ensemble ces résultats confirment que l'image faciliterait le traitement du texte.

Pour expliquer ce bénéfice de l'image pour le traitement du texte, les auteurs proposent une théorie de l'échafaudage, ou *Scaffolding View*, qui se situe dans la continuité du CTML et proposent donc que les traitements des composantes verbales et picturales se produisent dans deux systèmes de traitement distincts. Selon la théorie de l'échafaudage pour construire une représentation mentale de la manière dont les éléments du système de poulie s'organisent dans l'espace, les lecteurs s'appuieraient sur l'image, qui serait plus efficace que le texte pour traiter les informations sur les relations spatiales entre les éléments du système décrit. En effet, les informations spatiales seraient extraites plus rapidement (Larkin & Simon, 1987) et plus précisément à partir d'images que de textes (Stenning & Oberlander, 1995).

Cette interprétation présente toutefois deux principales limites. Premièrement, elle repose sur le fait que l'accélération de la lecture est observée sur la section décrivant la structure, mais pas celle concernant le fonctionnement du système, alors que cette dernière est lue beaucoup plus rapidement que la première (voir Figure 2.5). Ainsi, l'absence d'accélération significative de la lecture de la section sur le fonctionnement du système pourrait être causée par effet plancher : les lecteurs ne pourraient réduire leur temps de lecture de cette section. Leur temps de lecture étant déjà trop bas lors de la lecture de cette section, ils ne pourraient accélérer sans affecter leur compréhension. Deuxièmement, il est difficile de généraliser cette interprétation à d'autres types de contenu. Ici, les auteurs ont utilisé un texte explicatif, portant sur un système de poulie, dont l'organisation spatiale est particulièrement difficile à décrire verbalement. Pour des textes narratifs, ou relatifs à des sujets pour lesquels les informations spatiales ne jouent pas un rôle aussi déterminant, l'image ne pourrait donc pas jouer ce rôle de soutien à la

compréhension et à la lecture. Pourtant, les résultats de Holmqvist Olander et al. (2017) suggèrent qu'il existe également une réduction du temps de lecture chez des adultes normolecteurs sur des textes pour lesquels les contraintes relatives à l'information spatiale seraient moins importantes.

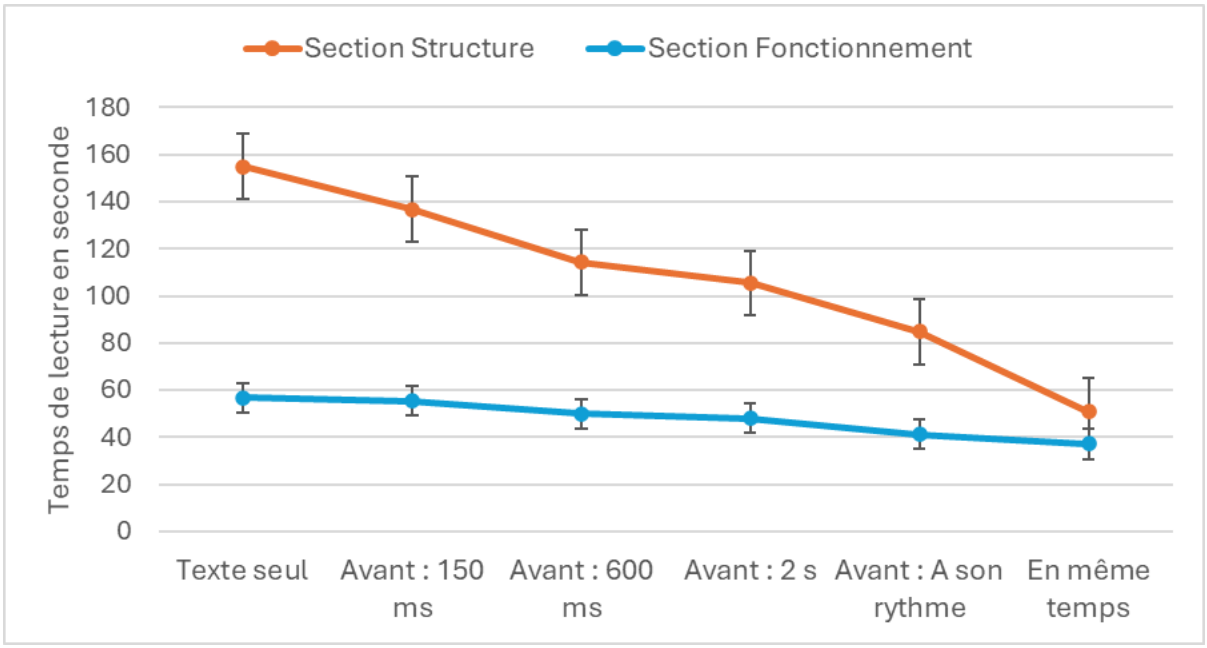


Figure 2.5. Résultats de l'étude de Eitel et al. (2013 a) sur les temps de lecture en fonction de la condition de présentation du texte et de l'image, et de la section lue.

Pour expliquer les effets du traitement de l'image sur le traitement de la composante verbale, Sonine et Chanquoy (2007) ont proposé un modèle d'inspiration connexionniste, qui s'affranchit donc de l'existence de deux systèmes de traitement comme supposé par la théorie du double codage (Paivio, 1986). L'objectif de ce modèle est de définir les processus qui permettraient à l'image de faciliter le traitement de la composante verbale d'un support multimédia, en prenant en compte les différences dans le cheminement de l'activation lors du traitement des composantes verbales et picturales. Pour cela, les auteurs postulent un traitement en trois étapes : le traitement structural primaire, le traitement lexical et le traitement sémantique. Le traitement structural primaire est similaire entre les deux composantes, et consiste en l'identification et la combinaison des

traits élémentaires qui composent les mots et les objets représentés dans les images (Damasio, 1989). C'est lors des étapes suivantes qu'apparaissent les différences entre les deux composantes. En effet, pour le traitement de la composante verbale, le traitement lexical précèderait le traitement sémantique, alors que pour l'image, l'inverse serait observé. Ainsi, plusieurs études ont montré que l'accès au sens porté par la composante picturale était plus rapide que pour la composante verbale, car elle ne serait pas médiée par les mots (Bajo, 1988; Glaser, 1992; Potter & Faulconer, 1975; Valente et al., 2016).

Pour expliquer comment, grâce à ces différences lors du traitement de l'information, le traitement de l'image peut influencer le traitement du message verbal, les auteurs partent de l'hypothèse que lors de la lecture d'un texte classique, le lecteur créerait une représentation de base, appelée base de texte, sur laquelle il construirait une représentation de plus en plus élaborée au fur et à mesure de la lecture (Gernsbacher et al., 1990; Kintsch, 1998). Ainsi, puisque le traitement sémantique de l'image est plus rapide que celui des mots, la représentation de base se ferait à partir de la prise en compte prioritaire du contenu sémantique de l'image, pour ensuite être enrichie, complétée ou corrigée par le traitement sémantique des mots. Par ailleurs, les traitements des composantes verbales et imagées se feraient en parallèle, et il ne serait pas nécessaire de finir un traitement pour démarrer l'étape de traitement suivante. Ainsi, la représentation de base réalisée à partir du traitement de l'image activerait des concepts pertinents et inhiberait des concepts sans intérêt pour la compréhension du support, ce qui permettrait de faciliter le traitement du message verbal (voir Figure 2.6). Un point particulièrement intéressant de ce modèle est que le cycle « identification – traitement – interaction » décrit ci-dessus pourrait se répéter pour chaque fragment du support multimédia. Cela est particulièrement important pour le traitement des successions de cases dans les BD.

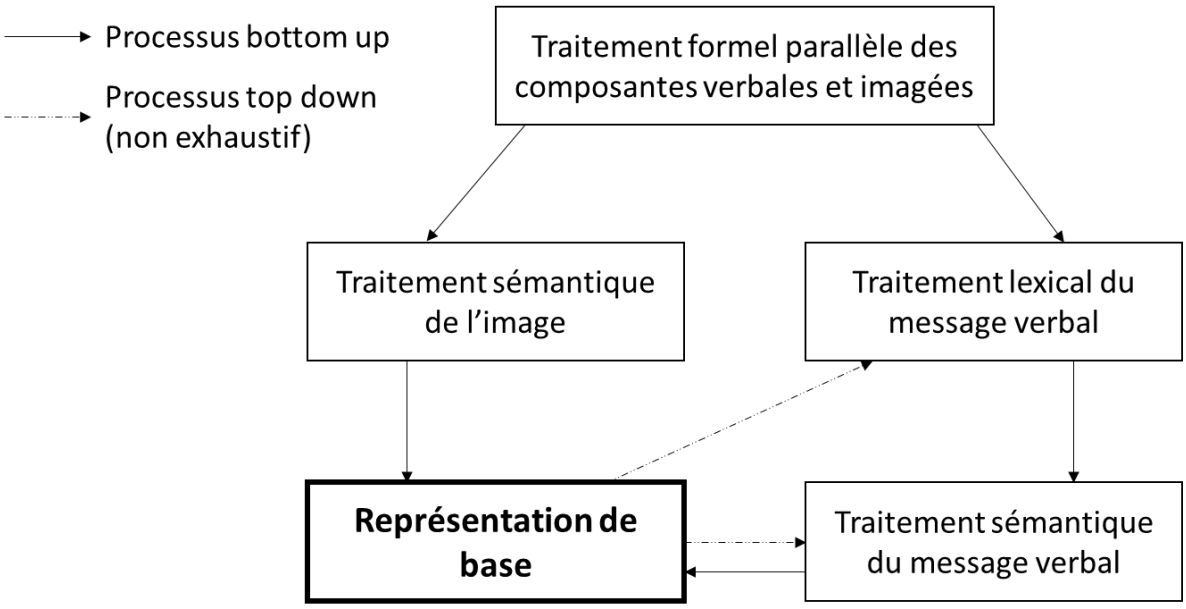


Figure 2.6. Le modèle de Sonine et Chanquoy (2007). Sur la branche de droite, le traitement des mots de la composante verbale nécessiterait d'abord un traitement lexical suivi par le traitement sémantique, et donc l'accès au sens des mots. Sur la gauche, le traitement sémantique de l'image se ferait plus rapidement, car il n'est pas médiatisé par les mots. Cela permettrait au lecteur de se créer une première représentation de base à partir de l'image. Cette première représentation de base pourrait être ensuite utilisée pour faciliter le traitement de la composante verbale.

Malgré la pertinence de ce modèle pour expliquer les résultats observés chez les adultes lecteurs typiques, les résultats chez les enfants en cours d'apprentissage de la lecture montrent une réalité plus complexe. Torcasio et Sweller (2010) ont observé que des enfants en classe de CP faisaient plus d'erreurs lors de la lecture à haute voix d'un texte accompagné d'illustrations informatives, comparée à un texte seul ou accompagné d'illustrations non informatives. Les auteurs suggèrent que ces résultats sont dus à un effet de redondance, qui dirige l'attention du lecteur sur les images plutôt que la composante verbale lorsque celle-ci fournit des informations similaires au texte, causant une mauvaise répartition des ressources cognitives amenant à plus d'erreurs de lecture. Cette interprétation est cohérente avec les résultats de Beveridge et Griffiths (1987) avec des enfants de 11 ans et 8 mois ayant un retard de lecture de 2 ans qui lisaient à voix haute

des textes de difficultés variables, illustrés ou non. Pour les textes difficiles, les enfants faisaient plus d'erreurs de lecture lorsqu'une image était présentée avec le texte. Pour les textes faciles, les enfants faisaient moins d'erreurs lorsqu'une image accompagnait le texte. Cette modulation de l'effet de l'image par la difficulté du texte pourrait expliquer, au moins en partie, pourquoi les résultats sont hétérogènes entre les différentes études. Il est cependant intéressant de noter que dans l'étude Beveridge et Griffiths (1987), les effets de l'image sur les erreurs de lecture des mots du texte n'étaient pas reproduits pour les scores de compréhension, peu importe le niveau de difficulté du texte. Ainsi, les difficultés d'identification des mots écrits pour les textes difficiles illustrés sembleraient ne pas impacter les processus de compréhension.

Dans une revue de la littérature récente, Kennedy et Carriveau (2023) montaient que 64,9 % des 37 expériences étudiées reportaient des performances moins bonnes lorsque les enfants apprenaient à lire un mot avec une image comparé à un apprentissage sans image. Le reste des études ne rapportaient pas de différences entre les deux conditions. Ces résultats suggèrent donc que les difficultés rencontrées par les enfants lors de la lecture de mots accompagnés d'images se reflètent lors de l'apprentissage de la lecture. Toutefois, environ la moitié des études concernaient des enfants en maternelle ou plus jeunes, qui n'étaient donc que très peu familiarisés avec la lecture.

2.3. La lecture BD : des données rares et contradictoires

Les études sur la compréhension de textes multimédias mettent en évidence que l'image n'est pas toujours bénéfique pour le traitement et la compréhension du texte auquel elle est associée. En particulier, chez les jeunes enfants et chez les adultes dyslexiques, le traitement simultané des images et des mots pourrait augmenter les

besoins en ressources attentionnelles, en augmentant le nombre de traitements à réaliser pour élaborer une représentation mentale cohérente du contenu du support lu. Toutefois, la BD présente des caractéristiques différentes des supports multimédias classiques qui pourraient faciliter la compréhension du contenu. Par exemple, le CTML propose le principe de contiguïté spatiale, selon lequel il est plus facile de comprendre, et donc d'apprendre lorsque les composantes verbale et imagée sont spatialement proches l'une de l'autre est respecté grâce à l'utilisation de bulles et d'encadré (voir l'étude de Yum et al., 2021, présentée dans la partie 0 ci-dessus). L'utilisation des cases permet de respecter le principe de segmentation du CTML, selon lequel il est plus facile de comprendre un message multimédia lorsqu'il est segmenté en parties dans lesquelles l'apprenant peut naviguer à son rythme. Au contraire, d'autres principes issus du CTML ne sont pas respectés dans la BD. Par exemple, le principe de modalité, selon lequel il est plus facile d'apprendre lorsque la composante verbale est présentée oralement et la composante picturale visuellement, que lorsque les deux composantes sont présentées visuellement, n'y est pas applicable. Toutefois, dans une revue de la littérature, Renkl et Scheiter (2017) concluent que la présentation orale du texte ne serait pas efficace qu'une présentation écrite pour la compréhension de textes multimédias longs. La présentation de la composante verbale en modalité visuelle pourrait donc ne pas avoir d'impact pour la compréhension de BD.

2.3.1. La lecture de BD chez les apprentis lecteurs

L'une des différences entre supports multimédias classiques et BD est l'utilisation dans la BD de juxtaposition d'images qui porte un sens (McCloud, 1997). En effet, les images de la BD forment une narration visuelle qui permet de soutenir la compréhension de l'histoire (Cohn, 2013). La compréhension de cette narration nécessite un certain nombre

de capacités, et notamment des capacités de séquençage, qui permettent de comprendre que les images sont liées, que les personnages sont les mêmes d'une case à l'autre, etc. Une question essentielle est alors de savoir quand ces capacités se développent durant l'enfance, afin de pouvoir déterminer si les jeunes lecteurs ont les capacités nécessaires au traitement de la BD.

Dans une revue de la littérature, Cohn (2020) décrit que le développement de ces compétences se fait dans un temps assez long, environ 8 ans, à partir de 2 ans jusqu'au début de l'adolescence, avec un changement important aux alentours de 4-6 ans. En effet, avant 4 ans, les enfants semblent ne pas être capables de séquençage, puisqu'ils décrivent chaque image sans faire de lien entre celles-ci. On observe toutefois que des enfants de 3 ans sont capables de traiter une chaîne de causalité sur plusieurs images (par exemple, verre, marteau — verre brisé ; Gelman et al., 1980). Les capacités de séquençage entre les cases commencent à être observées à partir de 4 ans, et connaissent un fort développement jusqu'à 6 ans. Ces capacités continuent ensuite à se développer, plus lentement, jusqu'à l'adolescence. Il semblerait donc que les enfants développent les capacités de séquençage nécessaires à la lecture de BD dès l'entrée en école primaire, bien que celles-ci ne soient pas aussi bien développées qu'à l'âge adulte.

Plusieurs chercheurs en sciences de l'éducation notamment supposent donc la BD serait un bon support pour faciliter l'apprentissage de la lecture (McVicker, 2007), développer les connaissances littéraires (Schwarz, 2006) ou pour attirer les enfants avec des difficultés de lecture (Crawford, 2004). L'intérêt de la BD pour l'apprentissage des sciences notamment a également été souligné par plusieurs auteurs (Farinella, 2018; Green & Myers, 2010; Jee & Anggoro, 2012; J. Kim et al., 2017; Tatalovic, 2009). Plusieurs caractéristiques de la BD sont avancées pour justifier son utilisation dans les salles de classe. Les enfants semblent considérer que la BD est amusante et facile à lire (McGeown

et al., 2020). La BD permet également de mettre en place une narration, des personnages et des métaphores pour décrire un sujet, ce qui permettrait d'augmenter l'engagement des élèves, et donc leur compréhension de son contenu (Farinella, 2018; Suen et al., 2018; von Reumont & Budke, 2020). La BD s'est montrée efficace pour sensibiliser des enfants en cours d'apprentissage de la lecture aux risques de brûlures (Sinha et al., 2011), aux douleurs lombaires (Kovacs et al., 2011), aux douleurs post-hospitalisation (Hanson et al., 2017) et pour leur donner des informations et obtenir leur consentement avant leur participation à un protocole de recherche (Masseti et al., 2018). Toutefois, dans ces études, la lecture de BD n'était pas comparée à un groupe contrôle, et il est donc difficile de savoir si son utilisation était plus efficace qu'un texte classique.

La seule étude comparant rigoureusement la compréhension en lecture de BD et de texte classique pour la compréhension en lecture chez des enfants en cours d'apprentissage de la lecture a été menée en langue seconde, et ne permettait pas de conclure à un bénéfice de la BD par rapport au texte (Chan et al., 2019). Chez des enfants plus âgés, en classe de sixième ou après, seulement trois études comparent les formats texte et BD (Cook, 2017; Kinzer et al., 2011; Spiegel et al., 2013). Deux de ces études montraient un plus grand engagement des élèves qui ont lu la BD comparée au texte (Cook, 2017; Spiegel et al., 2013), mais une seule reportait une amélioration de la compréhension écrite lors de la lecture de BD. L'augmentation de l'engagement ne serait donc pas suffisante pour améliorer la compréhension écrite. Kinzer et al. (2011) ont adapté un jeu vidéo narratif en BD et en texte classique, et ont comparé la motivation et la compréhension sur ces trois supports avec des enfants de 11 ans. Le texte classique était jugé plus motivant à lire que la BD et le jeu vidéo. Les auteurs supposent que les enfants pouvaient être plus familiers des textes classiques que des BD et jeux vidéos ce qui aurait pu influencer leurs réponses. Il n'y avait toutefois pas de différence entre la BD

et le texte sur des questions de compréhension littérale, bien que la BD était mieux comprise que le jeu vidéo. Notons que dans cette dernière étude, l'histoire proposée était beaucoup plus longue que dans les deux études précédentes, ce qui a pu influencer la motivation des enfants à accomplir la tâche.

Dans l'ensemble, les résultats chez les enfants et les adolescents ne permettent pas de conclure à un bénéfice de la BD par rapport à un texte classique. Toutefois, on remarque chez les adolescents que plus ils allouent leur attention aux images, meilleure est leur compréhension (von Reumont & Budke, 2020), ce qui suggère que celles-ci sont centrales dans la compréhension des BD. Chez les jeunes lecteurs, les résultats en lecture de supports multimédias classiques suggèrent que la présence de l'image pourrait gêner le traitement du message verbal (Kennedy & Cariveau, 2023; Torcasio & Sweller, 2010), ce qui peut avoir un effet négatif sur la compréhension (Seger et al., 2021). Ces résultats n'ont pas été reproduits dans la lecture de BD chez les adolescents, probablement car leur expertise en lecture est plus importante, ce qui leur permettrait d'avoir plus de ressources cognitives disponibles pour traiter les deux composantes simultanément. Une première question est donc de déterminer si les enfants en cours d'apprentissage de la lecture rencontrent plus de difficultés lorsqu'ils lisent une BD qu'un texte classique. En effet, il est possible que la disposition spatiale des éléments de la BD permette d'alléger la demande cognitive imposée par le traitement des deux composantes à la fois. Le traitement de l'image pourrait alors faciliter la compréhension en lecture. En effet, l'image pourrait faciliter la réalisation d'inférences (Kendeou et al., 2020; Pike et al., 2010), et améliorer leur compréhension en lecture, malgré les contraintes imposées par le traitement simultané des deux composantes.

Par ailleurs, le modèle simple de la lecture (Gough & Tunmer, 1986; Hoover & Gough, 1990) propose que la compréhension écrite est le produit de deux capacités, le décodage

et la compréhension orale (voir section 1.1.1). Une deuxième question importante est donc de savoir comment l'implication de ces deux composantes varie avec la présence de l'image dans la BD par rapport au texte. En effet, ce modèle n'a jamais été testé pour la lecture de BD, et nous ne savons pas comment le traitement de l'image module l'implication de ces deux capacités dans l'explication des performances en compréhension écrite pour les enfants en cours d'apprentissage de la lecture. Certains auteurs proposent que l'image puisse réduire l'importance des capacités de décodage pour la compréhension (Kirby et al., 2008), ce qui serait cohérent avec le modèle de Sonine et Chanquoy (2007), proposé pour des lecteurs experts. Nous avons toutefois vu que le traitement de l'image pourrait perturber le traitement de la composante verbale pour les enfants en cours d'apprentissage de la lecture, notamment pour les plus faibles décodeurs (Kennedy & Cariveau, 2023; Torcasio & Sweller, 2010).

L'impact de la BD sur l'implication des capacités de compréhension orale pour la compréhension écrite est une question particulièrement intéressante puisqu'elle permet de questionner la nature des systèmes de traitement de l'image. En effet, si le traitement de l'image dépend d'un système amodal, identique au traitement du langage (Magliano et al., 2013), alors les capacités de compréhension orale joueraient un rôle similaire dans les performances en compréhension de texte classique ou de BD. Au contraire, si le traitement de l'image dépend d'un système indépendant du langage comme supposé par la théorie du double codage de Paivio (1986), alors les capacités de compréhension orale, et notamment le vocabulaire, devraient être moins impliquées dans la compréhension en lecture de BD qu'en lecture de texte classique, puisque les lecteurs pourraient accéder au sens sans s'appuyer sur des connaissances langagières.

2.3.2. La lecture de BD chez les adultes normolecteurs

Comme les adolescents, les adultes déclarent en majorité avoir une attitude positive envers la BD (Aleixo & Sumner, 2017; Jian, 2023), et réussissent à apprendre des sciences à partir de supports (Jian, 2023; Kim et al., 2017), bien que peu l'utilisent pour développer leurs connaissances (Jian, 2023). Toutefois, et malgré les différents éléments théoriques décrits précédemment qui sous-tendent l'hypothèse que la compréhension en lecture serait facilitée par la présence des images de la BD comparée à un texte classique, les résultats de la littérature sont hétérogènes.

En effet, plusieurs études ont comparé la lecture de BD et la lecture de textes classiques chez des adultes, en langue maternelle et en langue seconde. En langue seconde, les résultats montrent systématiquement une amélioration de la compréhension en condition BD par rapport à la condition texte (Wong et al., 2017), notamment pour les lecteurs ayant le plus de difficultés (Liu, 2004). En langue maternelle cependant, l'effet de la BD sur la compréhension pourrait dépendre du niveau de représentation testé (représentations de la surface de texte, de la base de texte ou du modèle de situation ; voir section 1.2). Ainsi, Short et al. (2013) ont montré une meilleure représentation de la surface de texte, mesuré avec des questions de reconnaissance verbatim (« Avez-vous lu cette phrase dans le texte ? »). Au niveau de la représentation de la base de texte, mesurée avec des questions littérales ou de rappel, Aleixo et Sunmer (2017) ont montré de meilleures performances en lecture de BD, mais ces résultats n'ont pas été reproduits dans d'autres études (Lin et al., 2014; Short et al., 2013; Yum et al., 2021). Il est possible que la différence observée dans cette étude soit due à la manière dont les supports ont été construits, puisque le texte a été adapté d'une BD existante en retirant la composante picturale. Les informations contenues dans l'image n'ont donc pas été retranscrites

verbalement, ce qui a pu réduire la compréhension dans le format texte. Seule l'étude de Short et al. (2013) a évalué le modèle de situation au travers de questions évaluant le transfert des connaissances. Il n'y avait pas de différence entre les deux types de supports sur les performances dans la tâche de transfert de connaissances. Enfin, les résultats de Nalu et Bliss (2011) montrent que le contenu des BD est traité plus rapidement que le contenu des textes classiques, sans impact sur la qualité de l'apprentissage. Dans leur ensemble, ces résultats ne supportent pas l'idée qu'il y aurait un effet bénéfique de la BD pour la compréhension en lecture dans la langue maternelle chez des adultes, mais suggèrent que l'utilisation de l'image permettrait de réduire le temps de traitement nécessaire à l'acquisition de l'information.

Par ailleurs, plusieurs études se sont intéressées aux processus et stratégies d'exploration utilisés au cours de la lecture de BD. Pour cela, l'analyse des mouvements oculaires est particulièrement bien adaptée, puisqu'elle permet de mettre en évidence les différents processus cognitifs impliqués dans le traitement des composantes verbales et imagées (Alemdag & Cagiltay, 2018), et que les mesures semblent cohérentes entre différents types de support (texte ou BD) et différents supports BD (Wada, 2023). Ainsi, Laubrock et al. (2018) ont observé que lorsque les participants traitaient une case pour la première fois, ils avaient tendance à regarder l'image avant le texte. Des résultats similaires ont été observés sur des BD mono-cases (Carroll et al., 1992), ainsi que sur des multimédias classiques (Underwood et al., 1990). Les auteurs ont également montré que les lecteurs avaient tendance à revenir sur les images plutôt que sur le texte lorsqu'ils revisitaient une case déjà traitée. Ils utiliseraient donc l'image pour trouver des informations qui pourraient leur manquer pour la compréhension du contenu du texte. Il est aussi possible que, comme suggéré par le modèle de Sonine et Chanquoy (2007), les processus d'intégration des deux composantes soient réalisés à partir de l'image, ce qui

encouragerait donc les lecteurs à revisiter les images, afin de confirmer ou corriger la représentation mentale élaborée à partir du traitement de l'image après avoir traité le contenu des bulles. Dans l'ensemble, ces résultats montrent l'importance de l'image pour la compréhension du contenu d'une BD, comme proposé par Sonine et Chanquoy (2007). Les mouvements oculaires ont également été largement utilisés pour étudier les processus de compréhension lors de la lecture de texte classique (Rayner et al., 2006; Underwood et al., 1990). À notre connaissance, aucune étude n'a pourtant réalisé de comparaison entre ces deux types de supports en utilisant l'oculométrie. L'utilisation des mouvements oculaires pourrait permettre de comparer les patterns de mouvements oculaires pendant la lecture de textes classiques et la lecture de BD. Ainsi, il serait possible de comprendre comme les images influencent le traitement des informations verbales et picturales dans la BD.

2.3.3. La lecture de BD chez les étudiants avec une dyslexie

Considérée depuis longtemps comme un support de lecture accessible et engageant, la BD est régulièrement citée comme un outil potentiel pour les personnes avec des difficultés de lecture, comme dans la dyslexie (Hallenbeck, 1976; Themelis & Sime, 2020). Néanmoins, on constate qu'aucune recherche empirique n'a été menée pour examiner cet effet présumé. Pourtant, nous avons vu que les adultes dyslexiques pouvaient présenter des difficultés à traiter simultanément les deux composantes de supports multimédias, et de les intégrer pour créer une représentation cohérente de leur contenu (Holmqvist Olander et al., 2017; Kim et al., 2018).

La BD présente deux caractéristiques qui ne sont pas forcément partagées avec les supports multimédias classiques, l'utilisation de bulles et la juxtaposition d'image qui

forment une narration visuelle, et qui peuvent avoir un impact sur les processus de compréhension, notamment pour les personnes dyslexiques (voir partie 0 ci-dessus).

L'utilisation de bulles et d'encadrés pourrait permettre de faciliter la compréhension des personnes dyslexiques via deux mécanismes. Premièrement, l'utilisation de bulles encouragerait les auteurs à créer des phrases syntaxiquement plus simples, ce qui pourrait réduire la pression en mémoire de travail et donc faciliter la compréhension des phrases (Wiseheart et al., 2009). Deuxièmement, l'utilisation de bulles permettrait une meilleure intégration spatiale des composantes verbales et imagées, puisque la composante verbale fait partie spatialement de l'image (Yum et al., 2021). Cette proximité spatiale pourrait encourager les lecteurs dyslexiques à faire plus de saccades entre les images et les bulles correspondantes, ce qui permettrait une meilleure intégration des représentations réalisées à partir du traitement des images et des mots.

La juxtaposition des images via l'utilisation des cases permettrait une segmentation de l'information en section porteuse de sens, ce qui pourrait permettre aux lecteurs dyslexiques de mieux allouer leurs ressources attentionnelles pour traiter chaque élément de la case, avant de passer à la case suivante. Par ailleurs, l'ensemble des images produit une narration visuelle sur laquelle les adultes dyslexiques, qui sont plus sensibles aux informations sémantiques et paratextuelles (voir section 1.3), pourraient s'appuyer pour créer une représentation sémantique du contenu de la BD.

2.4. Objectifs et hypothèses

L'objectif principal de cette thèse est d'identifier l'influence du traitement de l'image sur les processus cognitifs en jeu dans la lecture et la compréhension de BD, chez des enfants en cours d'apprentissage et des adultes lecteurs typiques et dyslexiques. Plus précisément, notre premier objectif est de déterminer si la BD peut faciliter les processus

de compréhension par rapport à un texte classique dans les trois populations étudiées. Un deuxième objectif est d'identifier les processus sous-jacents aux effets potentiels de facilitation dans les différentes populations et, plus précisément, de déterminer le rôle du traitement de l'image dans la compréhension en lecture de BD.

Dans ce but, nous avons mené trois études, la première avec des enfants scolarisés en classe de CE1 et CE2, la deuxième avec des adultes normolecteurs, et la dernière avec des adultes avec une dyslexie étudiants à l'université. Nous avons comparé la lecture d'histoires ou d'extraits d'histoires initialement publiées en format texte classique et adaptées en BD, avec des mesures de compréhension littérale et inférentielle et avec des mesures oculométriques. L'utilisation d'œuvres publiées nous permet de nous affranchir des biais méthodologiques inhérents à la construction d'un matériel multimédia, et de rester fidèles aux codes et adaptations utilisés par les auteurs et dessinateurs de BD pour transmettre un message via les images et les mots dans les bulles (Saltzman, 2017). Par ailleurs, la plupart des études portant sur la compréhension de textes classiques ou multimédias utilisent des supports de lecture relativement courts, comprenant une phrase ou un paragraphe au maximum. Ces phrases ou paragraphes courts ne représentent pas ce qui pourrait être lu au quotidien, dans un contexte d'apprentissage ou de lecture pour le loisir. Nous avons donc choisi des extraits plus longs que ce qui est habituellement utilisé dans la littérature pour répondre à cette limite des études précédentes.

De manière générale, nous formulons l'hypothèse que l'influence de la BD sur les processus de compréhension varie en fonction de la population concernée, et donc de l'expertise en lecture. En effet, les enfants pourraient avoir plus de difficulté à bénéficier de la présence de l'image, en raison de capacité en lecture (et plus particulière de décodage) en développement. Chez les adultes normolecteurs, la présence des images

pourrait permettre d'accélérer le traitement du contenu de la BD par rapport au texte classique, sans impacter la qualité de la représentation sémantique du contenu de l'histoire. Contrairement aux enfants, les adultes dyslexiques étudiants à l'université auraient mis en place des processus de compensation basés principalement sur l'utilisation des informations sémantiques et paratextuelles, qui pourraient être plus facilement accessibles dans la BD.

Chapitres Expérimentaux

Chapitre 3 :

De meilleures capacités de décodage sont nécessaires pour lire une BD que pour lire des textes « traditionnels » chez des enfants de CE1 et CE2

La BD est souvent utilisée à des fins éducatives. Certains auteurs considèrent qu'elle pourrait faciliter l'apprentissage de la lecture (McVicker, 2007) et le développement de stratégies de compréhension (Brenna, 2013), en particulier pour les plus faibles lecteurs (Crawford, 2004; Kirby et al., 2008; Schwarz, 2006; Themelis & Sime, 2020). Toutefois, les études comparant la compréhension en lecture de BD ou de textes illustrés et à celle de textes classiques sont rares, particulièrement chez les enfants en cours d'apprentissage de la lecture. De plus, la présence d'images pourrait entraver la reconnaissance des mots écrits des bulles (Torcasio & Sweller, 2010).

Cette étude tentait de répondre à deux objectifs. Le premier visait à déterminer l'impact de la BD sur la compréhension en lecture chez des élèves de CE1 et CE2. Le deuxième consistait à comparer l'implication des capacités de décodage et de compréhension orale dans la compréhension de textes et de BD, avec pour cadre général

du modèle SVR (Gough & Tunmer, 1986). Pour répondre à ces objectifs, 141 élèves de CE1 et CE2 ont lu une histoire en format texte classique ou en format BD, et ont répondu à des questions évaluant la compréhension.

Les résultats ne montraient pas d'effet du format sur les scores de compréhension en lecture, mais le temps nécessaire à l'exploration de l'histoire était plus important pour la BD que pour le texte. Le double codage de l'information picturale (images) et verbale (les mots dans les bulles) ainsi que leur intégration serait responsable de ce temps additionnel, sans toutefois perturber la compréhension. De plus, nous avons observé que les capacités de décodage avaient une influence plus importante sur la compréhension en lecture de BD qu'en lecture de texte, ce qui va à l'encontre de l'idée que la BD est particulièrement adaptée pour les faibles lecteurs.

Pour approfondir notre compréhension des résultats comportementaux, nous avons effectué une première analyse des données oculométriques de 72 participants de l'étude lors de la lecture du texte et de la BD. Ces analyses seront présentées en deuxième partie de ce chapitre, après la présentation du manuscrit soumis.

Dans l'ensemble, la BD ne semble pas être un outil adapté pour faciliter la compréhension en lecture chez des jeunes lecteurs. Au contraire, la lecture du support BD prendrait plus de temps que celle du support texte. De plus, la compréhension du support BD dépendrait plus fortement des capacités de décodage que la compréhension de texte classique. Les enfants en cours d'apprentissage de la lecture devraient donc développer des capacités de décodage suffisantes pour bien comprendre la BD.

Article 1 : Reading comics needs better decoding skills than reading texts in 2nd and 3rd graders

Reading comics needs better decoding skills than reading texts in 2nd and 3rd graders

Maud RASAMIMANANA

Aix Marseille Univ, CNRS, CRPN, InCIAM, Marseille, France
maud.rasamimanana@univ-amu.fr

Raphaël MIZZI

Aix Marseille Univ, CNRS, CRPN, InCIAM, Marseille, France
Raphael.mizzi@univ-amu.fr

Johanna GUINET

Aix Marseille Univ, CNRS, CRPN, Marseille, France
johanna.guinet@etu.univ-amu.fr

Pascale COLE

Aix Marseille Univ, CNRS, CRPN, InCIAM, Marseille, France
Pascale.cole@univ-amu.fr

Corresponding authors: Maud Rasamimanana (maud.rasamimanana@univ-amu.fr) and Pascale Colé (pascale.cole@univ-amu.fr)

Acknowledgment

The project leading to this publication has received funding from the Excellence Initiative of Aix-Marseille University - A*Midex, a French "Investissements d'Avenir programme" AMX-19-IET-005. MR was supported by a PhD scholarship from the Institute for Creativity and Innovation of Aix-Marseille University (InCIAM).

We thank Abdessadek El Ahmadi for his precious advice concerning statistical analysis and Jean-Baptiste Melmi for his help with the experimental program.

Data availability statement

The data that support the findings of this study are openly available in the OSF repository at https://osf.io/5eagp/?view_only=5188b80825a14365bb969dde4ba2f5b5. The materials used in this study are not publicly available due to copyright restrictions.

Conflict of interest disclosure

The authors report there was no competing interest to declare.

Ethics approval statement

Participants written consent was obtained before the experiment. The research was approved by Comité de Protection des Personnes Ouest I (n° 2023T3-11).

Permission to reproduce material from other sources

The authors did not receive permission to reproduce the material used in the study.

Abstract

Comics are often used for educational purposes. However, very little is known about the processes involved in comic reading comprehension when children learn to read. 141 French 2nd and 3rd graders read the same story in comic or traditional text format. Comic format did not improve comprehension scores and increased the time needed to explore the story. Because comics use two information channels (pictorial and verbal), these results suggest that picture processing and integration processes may take longer than simple text format processing. Additionally, decoding skills explained reading comprehension scores better in comic than in text format, indicating that children with weaker decoding skills may have more difficulty understanding comics.

Keywords: Comics, reading comprehension, decoding skills, vocabulary

Highlights

What is already known about this topic

- According to the Simple View of Reading, reading comprehension performance in traditional texts relies on two main skills: decoding and oral comprehension. The involvement of these skills in reading comprehension varies according to text type, language and reader's age.
- Little is known about how these abilities explain reading comprehension in comics, and evidence that pictures benefit word identification and comprehension performance in 2nd and 3rd graders is mixed.

What this paper adds

- This study is the first to explore reading comprehension processes in children learning to read in their first language.
- Reading comprehension performances are similar for comic and text formats; processing time is longer for comics in 2nd and 3rd graders.
- Decoding skills better explained reading comprehension in the comic than in the text format, while vocabulary knowledge was similarly involved in both.

Implications for theory, policy or practice

- Comics may not be an effective tool for improving reading comprehension, and consequently learning outcomes, in young readers. This may be especially true for children with weak decoding skills.
- Decoding skills may be differentially involved in reading comics and traditional texts. This has important implications for reading instruction.

3.1. Introduction

Comics are a popular tool for improving learning performance in children, and for example, some researches acknowledge the value of comics for teaching geography (von Reumont & Budke, 2020) or anatomy (J. Kim et al., 2017). But our understanding of comprehension processes in comics remains limited, particularly in the first years of learning to read. Thus, this study had two main objectives. First, because data on this subject is scarce, we compared comprehension performances on comics with performances on traditional linear text among 2nd and 3rd graders. Second, to better understand the comprehension processes involved in the two reading formats, and in comics in particular, we compared how the two main reading comprehension abilities described in the Simple View of Reading (Gough & Tunmer, 1986; Tunmer & Chapman, 2012), namely decoding and oral comprehension skills, are involved in reading comics and traditional linear texts.

3.3.1. Reading comprehension in comics and illustrated text

Reading comprehension is a complex process mobilizing multiple abilities and activities to construct a coherent mental representation of the text that goes beyond the literal word meanings (Perfetti & Stafura, 2014; van Dijk & Kintsch, 1983). The Simple View of Reading (SVR; Gough & Tunmer, 1986) is the leading model in research into reading acquisition with traditional texts. Numerous studies agree that the influence of decoding skills decreases as age and reading experience increase, while oral language comprehension becomes more important in explaining reading performance as reading skills develop (Ripoll Salceda et al., 2014).

To our knowledge, the involvement of decoding and oral comprehension skills in reading comics remains unexplored. According to Kirby & Savage (2008), pictures may help compensate for weak decoding skills, although some word reading data contradicts this hypothesis. For example, Torcasio and Sweller (2010) found that first graders made more word identification errors while reading text accompanied by informative illustrations than text with uninformative or no pictures. They suggested that when pictures are redundant with the text, children tend to allocate working memory resources to picture rather than text processing, leading to more reading errors. Willows (1978) found that second graders' reading times were longer when single words were presented with semantically-related pictures than with no pictures, although related pictures improved decoding accuracy. This suggests that pictures may distract children when reading words. This effect was greater in readers with poor written comprehension and vocabulary skills, suggesting that poor readers may experience more difficulty allocating attentional resources efficiently. Kennedy and Carriveau (2023) recently reported that pictures had a detrimental effect on word reading performance in most studies involving children aged 5 or younger to 10, while some found no impact. Their review suggested that participants' characteristics, such as age and reading abilities, may help explain why pictures sometimes have a detrimental effect on reading.

Results regarding the effect of pictures on reading comprehension performance in young readers are scarce and inconsistent. Although a meta-analysis showed that pictures improve reading comprehension performance (Guo et al., 2020), only 2 of the 36 reviewed studies included children in the relevant age range, with contradictory results. In the first study, Pike et al. (2010) showed that presenting pictures with the text facilitates inference-making in 2nd to 6th graders reading picture books. Conversely, Chan et al. (2019) observed no difference between illustrated and unillustrated texts in either comics

or picture books for story-retelling in children learning English as a second language. According to the authors, the absence of difference between the format with and without pictures may be due to the semantic redundancy between pictures and texts. The functional role of pictures, i.e. decorative or contributing additional meaning, may greatly influence their impact on reading comprehension performance (Carney & Levin, 2002).

Although the comics and other illustrated reading supports used in the above studies are often thought to be similar (Saguisag, 2017), they differ in the use of balloons and panels. Balloons change the spatial relationship between the verbal and pictorial components, as words in comics are embedded in pictures. Panels change the spatial layout of the supports, as several pictures are presented on the same page. This creates a visual narrative, as pictures are sequentially organized to convey meaning and narrative structure (Cohn, 2013b). These characteristics of comics may impact comprehension processes.

3.3.2. The present study

The effect of pictures on reading processes has been explored in various formats, including single words, texts or picture books. However, to our knowledge, only one study has compared comic and text reading comprehension in children learning to read, albeit in a second language (Chan et al., 2019), and questions remain concerning the effects of pictures on reading comprehension processes in comics. The present study had two key aims: firstly, to compare comprehension scores on the same story presented in comic or traditional text format; secondly, to compare how decoding and oral comprehension skills contribute to reading comprehension scores in these formats. Second and third graders had to read a story in comic or traditional text format. Following Ripoll Salceda et al. (2014), word decoding skills were assessed using a single-word reading task, and oral

comprehension skills with a receptive vocabulary task, with vocabulary skills serving as a proxy for oral comprehension (see Brèthes et al., 2022, for example).

Given that there is mixed evidence that pictures benefit comprehension processes in children during early reading acquisition, two alternative hypotheses concerning reading comprehension scores and exploration time (time needed to read the whole story, pictures included) are possible. If picture processing aids comprehension by enhancing inferential processing, (Pike et al., 2010), reading comprehension scores should be better in comics. Alternatively, if picture processing impairs word identification and reading comprehension processes, thus overloading working memory capacities, comprehension scores should be lower for comics than texts (Kennedy & Cariveau, 2023; Torcasio & Sweller, 2010). Comics activate two information channels (pictorial and verbal) and the picture processing and integration processes may require additional processing time. We thus expected exploration time to be longer in comics than texts after controlling for the effects of vocabulary and decoding skills.

We expected to reproduce classic findings on traditional text reading in French children, with decoding and oral language comprehension skills both contributing to reading comprehension scores (Massonnié et al., 2018; Megherbi et al., 2006). As Kirby and Savage (2008) suggest, if picture processing contributes to word decoding in comic speech balloons, decoding skills may explain comprehension scores in comics less than in traditional text. Alternatively, if picture processing impairs word reading, potentially impacting reading comprehension (Kennedy & Cariveau, 2023), decoding may explain reading comprehension in comics better than in texts, as poor decoding skills are linked to poor resource allocation (Miller & Keenan, 2009). Finally, hypotheses about the differential role of vocabulary across the two formats are difficult to formulate as it is necessary to clarify whether picture processing relies on an amodal system or one distinct

from language, as proposed by Paivio's dual-coding theory (1986). Consequently, our hypotheses remain speculative. According to Mayer (2009), understanding comics involves integrating verbal and pictorial information. Vocabulary should therefore play a less prominent role in comics than in traditional text, which involves only one modality. However, if semantic representations are amodal – whether pictorial or verbal – their role should be comparable across both media (Magliano et al., 2013).

3.2. Method

3.2.1. Participants

141 second and third graders (70 and 73 children, respectively) from 3 private and 3 public schools in Southern France participated in the study. Mean age was 8.09 years (SD = 0.67, age range: 6.74-9.44). All were native French speakers, had non-verbal IQ within the normal range (Raven, 2019) and had normal or corrected-to-normal hearing, visual acuity and visuo-spatial abilities (Rey's Figure B; Rey, 1959). Children were excluded from the study if they had been diagnosed with a neurodevelopmental disorder, if they did not complete all the tasks, or if they were not able to read the story or answer questions without help.

Comic and text reading habits were assessed through two 5-point Likert scales in a questionnaire addressed to the parents and differed significantly (see Table 3.1; $\chi^2(4, N = 141) = 15.637$, $p = .003$), with children reading traditional texts more frequently. We ensured that reading and reading-related abilities, such as vocabulary skills (adapted from Echelle de Vocabulaire en Images Peabody; Dunn et al., 1993), working memory capacities (WISC-V Digit Span subtest; Wechsler, 2016), word and pseudo-word reading (EVALEC; Sprenger-Charolles et al., 2005), and reading fluency performances

("L'Alouette"; Lefavrais, 2005), were similar across both groups of participants (Text vs Comic formats; see Table 3.2). However, children in the comic format group read comics less often than children in the text format group.

Table 3.1. Reading habits of participants for texts and comics (in percentage of participants

Reading habits	1	2	3	4	5
Texts	2.84	5.67	18.44	34.75	38.30
Comics	6.38	12.77	29.79	34.75	16.31

Note. 1 = Never; 2 = Less than once a month; 3 = 1 to 4 times a month; 4 = Several times a week; 5 = Every day

Written consent was obtained from parents and children prior to the experiment. As in Massetti et al. (2018), a short comic was created to explain the research protocol to the children before obtaining their consent. Ethics approval was granted by the "Comité de Protection des Personnes Ouest I" (No. 2023T3-11).

Table 3.2. Means and standard deviations for psychometric and cognitive measures for both groups of participants.

Pretests	Text Format	Comic Format	*t*	*df*	*p*	*d*
N (Boy/Girl)	72 (33/39)	71 (33/38)				
Text reading habits	4.1 (0.94)	3.9 (1.11)	1.15	135	.254	0.19
Comic reading habits	3.62 (1.03)	3.21 (1.14)	2.21	137	.029*	0.37
Non-verbal IQ (SN)	104.06 (12.77)	104.16 (12.49)	-0.05	140	.962	-0.01
Vocabulary (/70)	54.13 (6.73)	53.51 (6.81)	0.54	139	.592	0.09
Working Memory (SN)	11.67 (2.1)	11.32 (2.67)	0.85	133	.395	0.14
Word Reading						
Percent Error	5.53 (6.46)	7.04 (8.05)	-1.24	134	.217	-0.21
Response Time (ms)	1178 (368)	1240 (524)	-0.82	125	.416	-0.14
Pseudoword Reading						
Percent Error	15.59 (11.49)	18.07 (12.48)	-1.24	140	.217	-0.21
Response Time (ms)	1477 (488)	1413 (368)	0.90	132	.372	0.15
Reading Fluency (CTL)	193.33 (71.18)	184.75 (77.65)	0.69	140	.492	0.12
Rey's Figure						
Score copy (/31)	25.65 (2.37)	25.8 (3.08)	-0.33	132	.745	-0.06
Time copy (s)	77.85 (25.81)	79.77 (22.52)	-0.48	139	.635	-0.08
Score memory (/31)	22.01 (3.41)	21.66 (4.14)	0.55	133	.586	0.09
Time memory (s)	52.47 (16.72)	52.54 (15.75)	-0.03	138	.979	-0.00

3.2.2. Materials

Pilot studies were conducted to select an appropriate story (Pilot 1: 23 2nd and 3rd graders) and develop a suitable set of questions (Pilot 2: 42 2nd and 3rd graders). The chosen story, “La queue des animaux” (“The Animals' Tails,” our translation), comes from a collection of African tales adapted into colored comic format and published by "Petit à Petit Bd Eds" in 2008. The comic has 8 pages, containing 37 panels and 39 speech balloons. The text version of the story was also presented across 8 pages, corresponding to the comic’s layout. The metric and linguistic characteristics of both formats can be found in Supplementary Materials.

Comprehension was assessed with a questionnaire containing 22 open-ended questions, scored as either 0 or 1. Half of the questions were literal, while the other half were inferential. No question was answered only correctly or incorrectly. Cronbach's Alpha for the comprehension questionnaire was $\alpha = 0.81$. Two independent judges evaluated the questionnaire and demonstrated excellent inter-rater reliability (Cohen’s kappa = 0.843, z = 47.1, p = 0).

3.2.3. Procedure

Children read the comic or text version of the story to themselves. Comprehension questions were asked and answered orally immediately after reading. The story was displayed on a vertically-oriented screen measuring 27.1 by 33.8 cm to replicate the layout of a comic page. Since eye movements were recorded (results not reported in this paper), children were instructed to minimize head and body movements. They could control their reading pace by pressing the spacebar to turn the page but were told they could not return to previous pages. Additionally, they were told they could not consult the story while answering comprehension questions.

Vocabulary and non-verbal intelligence tests were performed collectively in the classroom. The other psychometric and cognitive measurements were performed individually before or after the experimental task.

3.3. Results

To compare the effect of comic versus text format on reading comprehension performances, we ran a binomial generalized model, with answers given to each question (correct or incorrect) as the dependent variable, and a linear general mixed model with exploration time, i.e., time needed to explore the whole story including pictures, as the dependent variable. For both models, the fixed effects included the effect of Format (text or comic, coded 0 or 1), Decoding Errors, Vocabulary and their interactions. Numerical predictors were mean-centered to simplify interpretation. For both models, we used the maximum random effect structure that allowed convergence (Barr, 2013).

3.3.1. Reading comprehension scores

Random effects included random intercepts for Participants, Question Numbers and Schools, and by-question number random slopes for Formats, Decoding Speed and Vocabulary. All results are reported in Table 3.3.

Table 3.3. Results from the generalized binomial mixed model for reading comprehension.

Predictors	Estimate	*SE*	*z*	*p*
(Intercept)	-0.04	0.18	-0.25	.803
Format	0.24	0.18	1.39	.166
Decoding Errors	-0.08	0.14	-0.59	.555
Vocabulary	0.58	0.12	4.81	<.001***
Decoding Errors X Vocabulary	-0.11	0.16	-0.65	.518
Format X Decoding Errors	-0.53	0.17	-3.03	.002**
Format X Vocabulary	-0.24	0.16	-1.48	.140
Format X Decoding Errors X Vocabulary	0.01	0.22	0.07	.946

Note. Observations: 3102 Marginal R^2 / Conditional R^2: 0.10/0.313

The Format effect estimate indicates that there was no significant difference in reading comprehension scores between comic (correct answers: 54.67%, SD = 19.82) and text formats (correct answers: 51.47%, SD = 22.88) after controlling for decoding and vocabulary skills. The Decoding Errors estimate indicates that the reading comprehension score for text format was not significantly affected by decoding skills. However, the positive Vocabulary estimate shows that oral language skills significantly predicted reading comprehension scores in text format, with better vocabulary skills leading to better comprehension scores. The significant Format x Decoding Errors interaction shows that decoding skills significantly predicted comprehension scores in the comic but not the text format, with fewer decoding errors resulting in better comprehension (see Figure 3.1 A). Finally, the Format x Vocabulary interaction was not significant, showing that oral language skills affected reading comprehension scores similarly across formats (see Figure 3.1. Frequency of correct answers to comprehension questions as a function of Decoding Errors (A) or Vocabulary (B), for text (light gray) and comic (dark gray) formats.Figure 3.1 B).

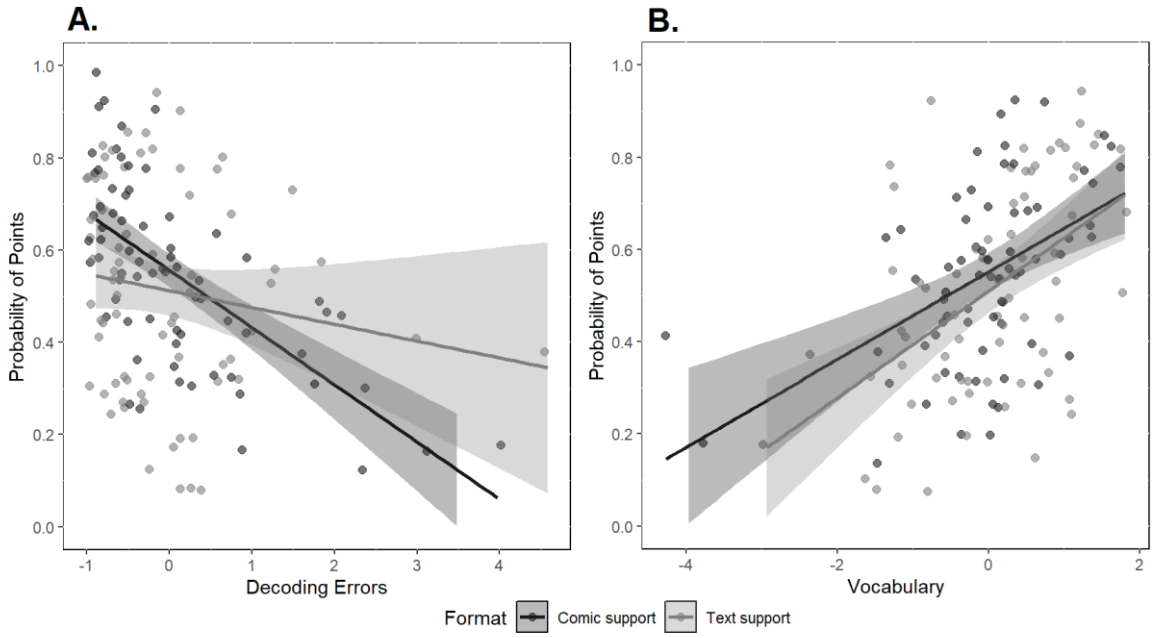


Figure 3.1. Frequency of correct answers to comprehension questions as a function of Decoding Errors (A) or Vocabulary (B), for text (light gray) and comic (dark gray) formats.

3.3.2. Exploration time

Random effects included random intercepts for Participants, Page Number and Schools, and by-page number random slopes for Format and Vocabulary and by-school random slopes for Decoding Errors. All results are reported in Table 3.4.

Table 3.4. Results from the linear mixed model for Exploration Time.

Predictors	Estimate	*SE*	*df*	*t*	*p*
(Intercept)	42.00	8.41	8.66	4.99	.001***
Format	16.30	3.74	61.75	4.36	< .001***
Decoding Errors	8.05	3.45	45.53	2.34	.024*
Vocabulary	-3.00	2.32	124.40	-1.29	.199
Decoding Errors X Vocabulary	5.19	3.44	131.25	1.51	.133
Format X Decoding Errors	3.20	3.63	129.04	0.88	.379

Predictors	Estimate	*SE*	*df*	*t*	*p*
Format X Vocabulary	-1.04	3.35	131.88	-0.31	.757
Format X Decoding Errors X Vocabulary	0.30	4.50	129.00	0.07	.946

Note. Observations: 1128. Marginal R^2 / Conditional R^2: 0.136/0.815

The Format effect estimate indicates that the text format (mean page-reading time = 40.49 s, SD = 14.35) was read significantly faster than the comic format (mean page-reading time = 57.73 s, SD = 25.69). The Decoding Errors estimate indicates that decoding skills significantly predicted exploration time for the text format, with more decoding errors leading to longer exploration times. The Vocabulary estimate indicates that exploration time was not significantly affected by oral language skills. The Format x Decoding Errors and Format x Vocabulary interactions were not significant, showing that vocabulary skills affected exploration time similarly across formats.

3.4. Discussion

In this study, we tried to identify some of the processes involved in reading comprehension in 2nd and 3rd graders using both text and comic formats. Although reading comprehension performance was similar across formats, the comic format elicited longer exploration time than the text format. In addition, decoding skills predicted reading comprehension in comics better than in texts, whereas there was no difference in vocabulary involvement across formats.

3.4.1. Comics do not enhance second and third graders' comprehension performances

We did not find any difference in comprehension scores between comics and traditional text, suggesting that reading comics did not seem to hinder comprehension. Thus, if reading comics focuses children on picture processing rather than on word

identification as has been suggested (Torcasio & Sweller, 2010), the information obtained from picture processing may allow readers to understand the story's content as efficiently as in texts.

Children also spent more time reading the comic than the text format. This last result is consistent with Willows (1978), who found that children took longer to read words presented with a congruent picture than words presented alone. Willows interpreted this as indicating that pictures can be distracting, requiring more attentional resources, thus increasing the time needed to process the story. However, we argue that the overloading of working memory should also have reduced reading comprehension scores in the comics format, which was not the case here. Instead, it is more likely that because comics consist of both text and picture, additional processing time is needed to construct a coherent representation of the story's content. Thus, rather than impairing word reading and comprehension processes, the presence of pictures may necessitate additional processing time for the picture processing and integration processes.

Given this interpretation, the children's familiarity with the comic format may have a major impact on comprehension measures, as the children in our samples read more traditional texts than comics. Golding and Verrier (2020) showed that 7 to 11-year-old children with more experience of reading comics achieved better reading comprehension performances than less experienced children, and that a comics literacy intervention improved literal and inferential comprehension. This raises the question of whether comics would be more obviously beneficial if children were more exposed to this format, leading to better comprehension scores and shorter exploration times than for texts.

3.4.2. Decoding skills have a greater influence on comprehension in comics than texts

In the text format, vocabulary skills, but not decoding skills, predicted comprehension scores, with better vocabulary skills being associated with higher comprehension scores. This may seem surprising given that decoding skills have been shown to predict reading comprehension in French second graders (Massonnié et al., 2018; Megherbi et al., 2006). However, vocabulary has also been shown to predict reading comprehension better than decoding skills in French first graders (Megherbi et al., 2006). Furthermore, most studies linking reading comprehension and decoding skills have used paragraphs or sentences. Keenan et al., (2008) reported that decoding skills have less influence on reading comprehension for longer texts. Here, we used a long story and children may have been able to use contextual cues within the story to compensate for weak decoding skills.

Contrary to Kirby and Savage's hypothesis (2008), decoding skills impacted comprehension scores more in the comic than in the text format. This may bear out Torcasio and Sweller's hypothesis (2010) that young readers allocate their attentional resources to processing pictures, leaving less working memory available to process the words in balloons. However, our results suggest that this conclusion may only apply to children with poor decoding skills (i.e.,1 SD above the mean for decoding errors), who answered fewer questions correctly in the comic (40%) than the text format (47%). Indeed, children with good decoding skills (1 SD below the mean) answered better in the comic (69%) than the text format (50%). Overall, these results suggest that comics could be an efficient way of enhancing reading comprehension in children with proficient decoding skills, as their decoding processes may be sufficiently automatized and allow them to benefit from the visual context provided by pictures.

Finally, we did not find any differential involvement of vocabulary skills in reading comprehension in the two formats. Some authors have distinguished different kinds of processes involved in comic and text reading comprehension, with front-end processes corresponding to processes involved in extracting verbal and pictural information, and back-end processes being involved in building a representation of the content (L. Loschky et al., 2018; Magliano et al., 2013). Consequently, front-end processes would differ across formats, while back-end processing requires the same skills – activation of knowledge, inferences, updating, etc. – in both text and comics. Our finding that decoding, but not oral comprehension, skills are differentially involved in reading comprehension in comics and text may support this view, as robust semantic knowledge is needed to build the semantic representation of the story's content in both formats. However, we must be cautious regarding this interpretation, since we used a measure of receptive vocabulary breadth, and vocabulary depth may possibly be more important for understanding inferences (Cain & Oakhill, 2014).

3.4.3. Implications and future directions

Comic books are generally considered an easy-to-read and easy-to-understand format. However, our findings suggest that they may not be suitable for all developing readers. In particular, comics could reduce the reading comprehension performance of children with poor decoding skills compared to traditional texts. More research is needed to understand how and when the development of decoding and vocabulary skills can assist the comprehension processes in comics. Indeed, in teenagers, comic formats appear to be more conducive to understanding and learning than texts (Cook, 2017; Spiegel et al., 2013)

As comics may allow readers to engage in more in-depth processing (Mayer, 2009), differences between comic and text formats may appear if the interval between reading and testing is greater, as deeper processing may be associated with better long-term memory of the story's content. Further research is needed to test this hypothesis and to determine which format is most efficient for long-term learning. In addition, eye-movement measures would help further test our hypotheses, as they could provide important information on word processing in comics and texts.

References

Barr, D. J. (2013). Random effects structure for testing interactions in linear mixed-effects models. *Frontiers in Psychology*, *4*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00328

Brèthes, H., Cavalli, E., Denis-Noël, A., Melmi, J., El Ahmadi, A., Bianco, M., & Colé, P. (2022). Text Reading Fluency and Text Reading Comprehension Do Not Rely on the Same Abilities in University Students With and Without Dyslexia. *Frontiers in Psychology*, *13*(May). https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.866543

Cain, K., & Oakhill, J. (2014). Reading comprehension and vocabulary : Is vocabulary more important for some aspects of comprehension?: *L'Année Psychologique*, *Vol. 114* (4), 647-662. https://doi.org/10.3917/anpsy.144.0647

Carney, R. N., & Levin, J. R. (2002). Pictorial Illustrations Still Improve Students' Learning from Text. *Educational Psychology Review*, *14*(1), 5-26. https://doi.org/10.1023/A:1013176309260

Chan, T. K. S., Wong, S. W. L., Wong, A. M.-Y., & Leung, V. W.-H. (2019). The Influence of Presentation Format of Story on Narrative Production in Chinese Children Learning English-as-a-Second-Language : A Comparison Between Graphic Novel, Illustration Book and Text. *Journal of Psycholinguistic Research*, *48*(1), 221-242. https://doi.org/10.1007/s10936-018-9600-9

Cohn, N. (2013). Visual Narrative Structure. *Cognitive Science*, *37*(3), 413-452. https://doi.org/10.1111/cogs.12016

Cook, M. P. (2017). Now I "See" : The Impact of Graphic Novels on Reading Comprehension in High School English Classrooms. *Literacy Research and Instruction*, *56*(1), 21-53. https://doi.org/10.1080/19388071.2016.1244869

Dunn, L., Dunn, L., & Thériault-Whalen, C. (1993). *Echelles de vocabulaire en image de Peabody : EVIP*. Psycan.

Golding, S., & Verrier, D. (2020). Teaching people to read comics : The impact of a visual literacy intervention on comprehension of educational comics. *Journal of Graphic Novels and Comics*, *00*(00), 1-13. https://doi.org/10.1080/21504857.2020.1786419

Gough, P., & Tunmer, W. (1986). Decoding, reading, and reading disability. *Remedial and Special Education*, *7*(1), 6-10.

Guo, D., Zhang, S., Wright, K. L., & McTigue, E. M. (2020). Do You Get the Picture? A Meta-Analysis of the Effect of Graphics on Reading Comprehension. *AERA Open*, *6*(1), 233285842090169. https://doi.org/10.1177/2332858420901696

Keenan, J. M., Betjemann, R. S., & Olson, R. K. (2008). Reading Comprehension Tests Vary in the Skills They Assess : Differential Dependence on Decoding and Oral Comprehension. *Scientific Studies of Reading*, *12*(3), 281-300. https://doi.org/10.1080/10888430802132279

Kennedy, T., & Cariveau, T. (2023). Picture-Text Compounds in Early Reading : A Descriptive Review. *Behavior and Social Issues*. https://doi.org/10.1007/s42822-023-00139-0

Kim, J., Chung, M. S., Jang, H. G., & Chung, B. S. (2017). The use of educational comics in learning anatomy among multiple student groups. *Anatomical Sciences Education*, *10*(1), 79-86. https://doi.org/10.1002/ase.1619

Kirby, J. R., & Savage, R. S. (2008). Can the simple view deal with the complexities of reading? *Literacy*, *42*(2), 75-82. https://doi.org/10.1111/j.1741-4369.2008.00487.x

Lefavrais, P. (2005). *ALOUETTE-R - Test d'analyse de la lecture et de la dyslexie*. ECPA.

Loschky, L., Hutson, J., Smith, M., Smith, T., & Magliano, J. (2018). Viewing Static Visual Narratives Through the Lens of the Scene Perception and Event Comprehension Theory (SPECT). In J. Laubrock, J. Wildfeuer, & A. Dunst (Éds.), *Empirical Comics Research : Digital, Multimodal, and Cognitive Methods*. Routledge.

Magliano, J. P., Loschky, L. C., Clinton, J. A., & Larson, A. M. (2013). Is Reading the Same as Viewing ? In B. Miller, L. Cutting, & P. McCardle (Éds.), *Unraveling the Behavioral, Neurobiological and Genetic Components of Reading Comprehension* (p. 78-90). Brookes Publishing Co.

Masseti, T., Crocetta, T., Guarnieri, R., Silva, T., Leal, A., Voos, M., & Monteiro, C. (2018). A didactic approach to presenting verbal and visual information to children participating in research protocols : The comic book informed assent. *Clinics*, *73*(10), 1-6. https://doi.org/10.6061/clinics/2018/e207

Massonnié, J., Bianco, M., Lima, L., & Bressoux, P. (2018). Longitudinal predictors of reading comprehension in French at first grade : Unpacking the oral comprehension component of the simple view. *Learning and Instruction*. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2018.01.005

Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning*. Cambridge University Press.

Megherbi, H., Seigneuric, A., & Ehrlich, M.-F. (2006). Reading comprehension in French 1st and 2nd grade children : Contribution of decoding and language comprehension. *European Journal of Psychology of Education*, *21*(2), 135-147.

Miller, A. C., & Keenan, J. M. (2009). How Word Reading Skill Impacts Text Memory : The Centrality Deficit and How Domain Knowledge Can Compensate. *Annals of dyslexia*, *59*(2), 99-113. https://doi.org/10.1007/s11881-009-0025-x

Paivio, A. (1986). *Mental representations : A dual coding approach*. Oxford University Press ; Clarendon Press.

Perfetti, C., & Stafura, J. (2014). Word Knowledge in a Theory of Reading Comprehension. *Scientific Studies of Reading*, *18*(1), 22-37. https://doi.org/10.1080/10888438.2013.827687

Pike, M. M., Barnes, M. A., & Barron, R. W. (2010). The role of illustrations in children's inferential comprehension. *Journal of Experimental Child Psychology*, *105*(3), 243-255. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.10.006

Raven, J. (2019). *RAVEN'S 2—Matrices Progressives—2nde édition*. ECPA.

Rey, A. (1959). *Test de copie et de reproduction de mémoire de figures géométriques complexes*. Editions du centre de psychologie appliquée.

Ripoll Salceda, J. C., Aguado Alonso, G., & Castilla-Earls, A. P. (2014). The simple view of reading in elementary school : A systematic review. *Revista de Logopedia, Foniatría y Audiología*, *34*(1), 17-31. https://doi.org/10.1016/j.rlfa.2013.04.006

Saguisag, L. (2017). Picturebooks and Comics. In B. Kümmerling-Meibauer (Éd.), *The Routledge Companion to Picturebooks* (1re éd.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315722986

Spiegel, A. N., McQuillan, J., Halpin, P., Matuk, C., & Diamond, J. (2013). Engaging Teenagers with Science Through Comics. *Research in Science Education*, *43*(6), 2309-2326. https://doi.org/10.1007/s11165-013-9358-x

Sprenger-Charolles, L., Colé, P., Béchennec, D., & Kipffer-Piquard, A. (2005). French normative data on reading and related skills from EVALEC, a new computerized battery of tests (end Grade 1, Grade 2, Grade 3, and Grade 4). *European Review of Applied Psychology*, *55*(3), 157-186. https://doi.org/10.1016/j.erap.2004.11.002

Torcasio, S., & Sweller, J. (2010). The use of illustrations when learning to read : A cognitive load theory approach. *Applied Cognitive Psychology*, *24*(5), 659-672. https://doi.org/10.1002/acp.1577

Tunmer, W. E., & Chapman, J. W. (2012). The Simple View of Reading Redux : Vocabulary Knowledge and the Independent Components Hypothesis. *Journal of Learning Disabilities*, *45*(5), 453-466. https://doi.org/10.1177/0022219411432685

van Dijk, T. A. van, & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. Academic press.

von Reumont, F., & Budke, A. (2020). Strategies for Successful Learning with Geographical Comics : An Eye-Tracking Study with Young Learners. *Education Sciences*, *10*(10), 293. https://doi.org/10.3390/educsci10100293

Wechsler, D. (2016). *WISC-V - Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents—5 ème édition*. ECPA.

Willows, D. M. (1978). A picture is not always worth a thousand words : Pictures as distractors in reading. *Journal of Educational Psychology*, *70*(2), 255-262. https://doi.org/10.1037/0022-0663.70.2.255

Pour aller plus loin

3.5. La lecture de BD et de texte : Premières données oculométriques

En complément des données comportementales reportées dans le premier article (score de compréhension et temps d'exploration), nous avons mesuré les mouvements oculaires des enfants au cours de la lecture du texte et de la BD. Toutefois, nous avons rencontré des difficultés techniques lors de l'enregistrement de ces données, liées aux conditions d'enregistrement. En effet, les passations se déroulaient dans les écoles, et nous n'avions qu'un contrôle limité sur l'éclairage de la pièce et l'installation des enfants, ce qui a eu un impact sur la qualité des enregistrements. Les résultats présentés dans cette partie sont donc des résultats préliminaires, qu'il faudra compléter avec des données supplémentaires.

3.5.1. Objectifs et hypothèses

Bien que l'utilisation de la bande dessinée auprès des enfants suscite un intérêt croissant, aucune étude n'a encore utilisé l'oculométrie pour étudier les processus en jeu dans la compréhension en lecture de BD chez les enfants scolarisés en CE1 et CE2. Nous avons donc mené des analyses exploratoires dont l'objectif est d'utiliser les mouvements oculaires pour étudier comment le traitement de l'image module l'implication de certaines capacités dans l'explication des performances de compréhension en lecture de BD (capacités de décodage et de compréhension orale, selon le modèle SVR, et de mémoire de travail, selon le Modèle des Systèmes de Lecture).

Une étude précédente chez les adolescents a montré un lien entre le temps passé sur les images et le niveau de compréhension d'une BD en géographie (von Reumont & Budke, 2020). Notre première hypothèse générale était donc que le temps total passé sur les images aurait un effet positif sur la compréhension en lecture de BD. Notre deuxième

hypothèse générale était que le temps passé sur les images modulerait l'implication des capacités de vocabulaire, de décodage et de mémoire de travail dans l'explication des performances en compréhension. Si le traitement des séquences d'images et du texte repose sur des systèmes différents (Cohn, 2016; Mayer, 2009; Paivio, 1986), l'image pourrait en effet permettre d'accéder au sens du contenu de l'histoire sans mobiliser les capacités de compréhension orale. Nous pourrions donc nous attendre à ce que plus le temps passé sur les images augmente, moins les capacités en vocabulaire expliquent les scores de compréhension de BD. A l'inverse, si l'élaboration de la représentation du contenu de l'histoire repose sur des processus similaires pour les mots et pour les images (Magliano et al., 2013), le temps passé sur les images ne devrait pas avoir d'influence sur l'implication des capacités de vocabulaire dans l'explication des scores de compréhension. Par ailleurs, si les faibles décodeurs s'appuient sur le traitement des images pour mieux comprendre le contenu de l'histoire, plus le temps passé sur les images est important, moins l'implication des capacités de décodage devrait expliquer les scores de compréhension. A l'inverse, on peut envisager que la préférence pour les images des plus faibles décodeurs serait délétère pour la compréhension. Dans ce cas, plus le temps passé sur les images est important, plus l'implication des capacités de décodage devrait expliquer les scores de compréhension écrite dans la BD. Enfin, certains auteurs considèrent que les images joueraient un rôle délétère pour la compréhension car leur traitement entrainerait moins de disponibilité en mémoire de travail pour traiter les mots contenus dans les bulles (Torcasio & Sweller, 2010). Plus le temps passé sur les images est important, plus les capacités de mémoire de travail devraient donc être impliquées dans les scores de compréhension en lecture de BD.

Un deuxième objectif était de déterminer si les enfants en cours d'apprentissage de la lecture parvenaient à utiliser l'image pour faciliter le traitement des mots dans les bulles

dans la BD par rapport au texte classique. En effet, plusieurs études proposent qu'en allouant leurs ressources attentionnelles au traitement des images, moins de ressources seraient disponibles pour le traitement de la composante verbale, ce qui augmenterait le temps nécessaire au traitement des mots (Torcasio & Sweller, 2010; Willows, 1978; voir section 2.2.2). Toutefois, cet effet n'a jamais été testé dans la BD, et il est possible que l'utilisation de bulles et d'encadré permette une meilleure intégration des composantes verbales et imagées, permettant donc de réduire l'effet délétère de l'image sur le traitement des mots des bulles. Ainsi, deux hypothèses alternatives peuvent être formulées. Si les enfants ont des difficultés à traiter les deux composantes simultanément, alors la vitesse de lecture, c'est-à-dire le nombre de mots lus par minute, devrait être réduite dans les bulles et encadrés de la BD par rapport au texte. A l'inverse, si la disposition spatiale de la BD permet de mieux traiter les deux composantes simultanément, alors la vitesse de lecture devrait être égale, voire supérieure, dans la BD par rapport au texte.

3.5.2. Méthode

3.5.2.1. Participants

Les résultats de 76 participants (41 CE1 ; 35 CE2) ayant participé à la première étude, dont 44 en condition lecture de texte et 32 en condition lecture de BD ont été analysés. Les enfants sont âgés de 8.12 ans en moyenne (ET = 0.72).

3.5.2.2. Matériel et procédure

Le matériel et la procédure utilisés sont les mêmes que dans l'article présenté dans le l'article 1.

3.5.2.3. Enregistrement et analyses des mouvements oculaires

Les mouvements oculaires ont été enregistrés avec un oculomètre Gazepoint GP3, à une fréquence d'échantillonnage de 60 Hz. Avant la lecture, une calibration en 9 points était réalisée, suivie d'une validation. La procédure était répétée jusqu'à ce que l'erreur de validation soit visuellement acceptable. Une *drift correction* a été réalisée entre chaque page. L'expérience était contrôlée avec le logiciel libre OpenSesame (Mathôt et al., 2012).

Malgré le soin apporté pour obtenir une calibration précise et pour corriger le drift qui peut avoir lieu sur des essais longs, les données oculométriques présentaient un décalage entre l'emplacement enregistré et l'emplacement réel des fixations. Pour corriger ce décalage, nous avons créé un programme inspiré de Palmer & Sharif (2016) afin de replacer manuellement chacune des fixations. Après avoir repéré les patterns typiques des mouvements oculaires, nous avons déplacé les fixations par paquet de trois fixations minimum, ligne par ligne pour le texte, et case par case pour la BD (voir Figure 3.2). Lorsqu'aucun pattern de lecture n'était identifiable, les participants n'ont pas été inclus dans les analyses.



Figure 3.2. Capture d'écran du programme de fixation des corrections. Les fixations corrigées sont représentées en bleu, les fixations originales en rouge. Ici, le pattern de fixations typiques de la lecture se repère autour de la bulle, par des fixations successives de la gauche vers la droite.

3.5.3. Résultats

3.5.3.1. Compréhension en lecture de BD

Pour analyser les effets du temps passé sur les images sur les performances de compréhension en lecture, nous avons réalisé un modèle binomial généralisé, avec les réponses données à chaque question (correcte ou incorrecte) en variable dépendante. Les effets fixes comprenaient le temps total passé sur les images, le pourcentage d'erreur dans la tâche de lecture de mots isolés (Décodage), le score dans la tâche de vocabulaire (Vocabulaire), la note standard pour la tâche de mémoire de travail (MdT), et l'interaction entre les effets du temps passé sur les images et de chacun des autres facteurs fixes. Toutes les variables indépendantes ont été centrées-réduites pour faciliter l'interprétation. Nous avons utilisé la plus grande structure d'effets aléatoire permettant la convergence du modèle (Barr, 2013). Les effets aléatoires incluaient les intercepts aléatoires pour les Participants, le Numéro de question et l'Ecole, ainsi que les pentes aléatoires pour le Décodage en fonction de l'Ecole, et pour le temps passé sur les mots, le

Vocabulaire, et la MdT en fonction du Numéro de question. Les résultats sont présentés dans le

Tableau 3.5.

L'effet du temps passé sur les images sur la compréhension en lecture était significatif. La probabilité de répondre correctement aux questions augmentait avec le temps passé sur les images. L'effet du Vocabulaire était marginalement significatif. La probabilité de répondre correctement aux questions tendait à augmenter avec les capacités de vocabulaire. Enfin, l'interaction entre les effets du temps passé sur les images et du vocabulaire était significative. Plus le temps passé sur les images augmentait, moins les capacités en vocabulaire avaient une influence sur les performances en compréhension (voir Figure 3.3).

Tableau 3.5. Résultats du modèle mixte binomial généralisé pour la compréhension en lecture de BD.

Prédicteurs	Estimation	*SE*	*z*	*p*
(Intercept)	0.18	0.37	0.47	.636
Temps passé sur les images	0.48	0.15	3.29	.001**
Vocabulaire	0.26	0.14	1.83	.068
Mémoire de travail	-0.19	0.17	-1.14	.253
Décodage	-0.55	0.79	-0.70	.486
Temps passé sur les images * Vocabulaire	-0.73	0.28	-2.59	.010**
Temps passé sur les images * MdT	-0.06	0.13	-0.45	.654
Temps passé sur les images * Décodage	0.07	0.17	0.40	.687

Note. Observations : 704 R^2 Marginal / Conditionnel : 0.063/0.49

Note. Observations : 704 R^2 Marginal / Conditionnel : 0.063/0.49

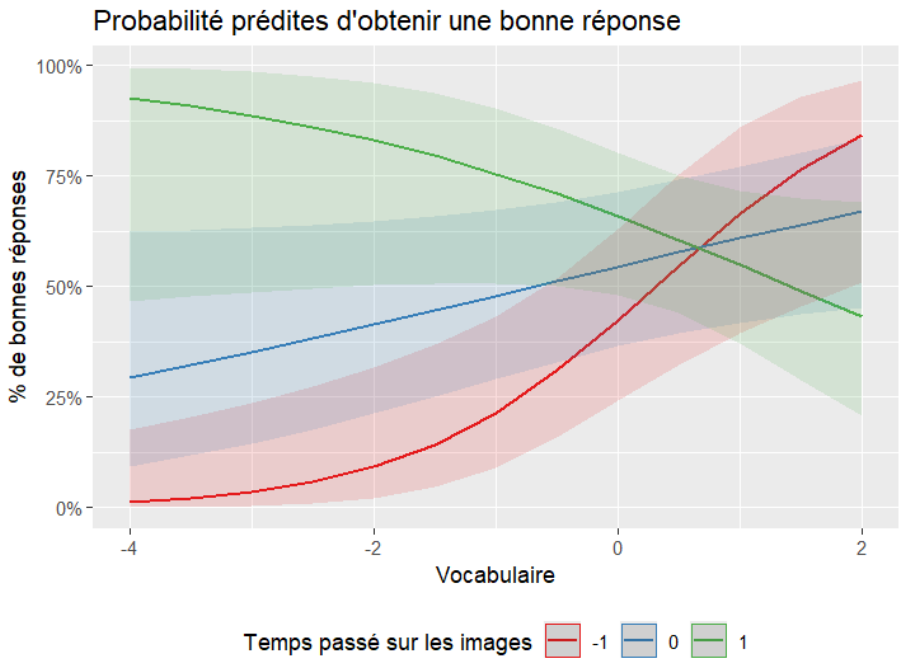


Figure 3.3. Pourcentage de réponses correctes en fonction du vocabulaire et du temps passé sur les images (en couleur)

3.5.3.2. Vitesse de lecture dans la BD et le texte

Pour analyser les effets du format sur la vitesse de lecture, nous avons réalisé un modèle linéaire généralisé, avec la vitesse de lecture dans les bulles ou dans le texte en variable dépendante. Les effets fixes comprenaient le Format (BD ou Texte), codé 0 pour le texte et 1 pour la BD. Le pourcentage d'erreur dans la tâche de lecture de mots isolés (Décodage), le score dans la tâche de vocabulaire (Vocabulaire), la note standard pour la tâche de mémoire de travail (MdT) étaient également inclus dans les effets fixes afin de contrôler les effets de ces variables sur la vitesse de lecture. Toutes les variables indépendantes ont été centrées-réduites pour faciliter l'interprétation. Nous avons utilisé la plus grande structure d'effets aléatoire permettant la convergence du modèle (Barr, 2013). Les effets aléatoires incluaient les intercepts aléatoires pour les Participants, le Numéro de page et l'Ecole, ainsi que les pentes aléatoires pour le Format, la MdT et le

Décodage en fonction de l'Ecole, et pour le Format et le Vocabulaire en fonction du Numéro de page. Les résultats sont présentés dans le Tableau 3.6.

Tableau 3.6. Résultats du modèle mixte linéaire pour la vitesse de lecture dans les bulles ou dans le texte.

Predictors	Estimate	*SE*	*df*	*t*	*p*
(Intercept)	136.90	8.64	5.00	15.84	< .001***
Format	-4.74	10.84	56.79	-0.44	.663
Décodage	-13.86	5.58	63.24	-2.48	.016*
Mémoire de travail	15.03	8.09	3.30	1.86	.152
Vocabulaire	-0.86	9.52	0.70	-0.09	.947

Note. Observations: 608 Marginal R^2 / Conditional R^2: 0.144/0.711

L'effet du Format sur la vitesse de lecture n'était pas significatif. La vitesse moyenne de lecture de la BD est de 126.26 mots par minute (ET = 57.36) et dans le texte de 134.95 mots par minutes (ET = 61.73). L'effet des capacités de décodage sur la vitesse de lecture était significatif. Plus les participants faisaient d'erreurs en lecture de mots isolés, moins leur vitesse de lecture était élevée. Il n'y avait pas d'effets significatifs des capacités de mémoire de travail et du vocabulaire sur la vitesse de lecture.

3.5.4. Discussion et conclusion

Dans cette étude exploratoire, notre objectif était de déterminer comment le traitement de l'image modulait l'implication des capacités de décodage, vocabulaire et mémoire de travail dans l'explication des performances de compréhension en lecture de BD. Un deuxième objectif était de déterminer dans quelle mesure le traitement de la composante verbale était affecté par le traitement des images dans la BD par rapport au texte classique.

3.5.4.1. Influence du traitement de l'image sur la compréhension en lecture de BD

Concernant l'effet du traitement de l'image sur les mécanismes et capacités impliqués dans la compréhension en lecture de BD, nous avons montré que plus le temps passé sur les images était important, meilleure était la compréhension. Ces résultats sont cohérents avec ceux de von Reumont et Budke (2020) qui ont montré que plus les adolescents passaient de temps sur les images, et plus particulièrement sur les personnages représentés sur les images, meilleures étaient leurs performances en compréhension. Ce résultat est particulièrement intéressant puisqu'il met en évidence l'importance du traitement de l'image pour la compréhension en lecture de BD.

Le temps passé sur les images ne modulait pas l'implication des capacités de décodage et de mémoire de travail dans l'explication du niveau de compréhension. Toutefois, plus les enfants passaient du temps sur les images, moins le niveau de vocabulaire, et donc les connaissances sémantiques, était impliqué dans l'explication des performances en compréhension. Ainsi, il semblerait que le traitement des images permette aux enfants d'accéder au sens sans mobiliser les capacités de compréhension orale. Toutefois, ce résultat n'est pas compatible avec les résultats décrits dans le premier article, qui suggèrent que les capacités de vocabulaire sont impliquées de la même façon dans la lecture de texte et de BD.

3.5.4.2. Influence du format sur la vitesse de lecture

Nous n'avons pas trouvé de différence significative entre la vitesse de lecture des mots dans le texte ou dans les bulles et encadrés de la BD chez les enfants en cours d'apprentissage de la lecture, après avoir contrôlé les capacités de décodage, le vocabulaire et la mémoire de travail. Ainsi, les enfants en cours d'apprentissage ne

bénéficieraient pas du traitement de l'image pour accélérer le traitement des mots dans les bulles. Toutefois, contrairement à ce qui a été montré dans des études précédentes utilisant d'autres types de supports multimédias, la lecture des mots n'était pas moins efficace lorsque des images sont présentes (Kennedy & Cariveau, 2023; Torcasio & Sweller, 2010). Ainsi, la BD, bien qu'elle soit également composée d'images et de mots, ne semble pas autant alourdir la charge cognitive que les autres types de supports multimédias, puisque les enfants seraient capables de traiter les mots dans les bulles aussi bien que les mots dans le texte.

Chapitre 4 :

La compréhension en lecture de BD est-elle plus facile qu'en lecture de texte classique pour des lecteurs experts adultes ?

Chez les enfants, la BD ne permettrait pas d'améliorer les processus de compréhension, voire au contraire les ralentiraient. Pour les adultes lecteurs experts, les précédentes études dont l'objectif visait à comparer la compréhension en lecture de BD et celle de texte montraient des résultats inconsistants. Toutefois, ces études présentaient des limites méthodologiques importantes, conduisant à des résultats contradictoires. Pour résoudre certains de ces problèmes méthodologiques, nous avons comparé la lecture de texte et de BD, en utilisant des histoires publiées en format roman et adaptées en format BD. Ainsi, l'étude conduite tente de répondre aux trois questions suivantes : (1) La BD facilite-t-elle l'élaboration de la représentation mentale du contenu de l'histoire ? (2) De quelle manière peut-on concevoir la BD facilite-t-elle les processus de compréhension ? (3) Comment intègre-t-on les composantes verbales et imagées de la BD ?

Nous n'avons pas observé de différence des scores de compréhension en lecture de BD et de texte, mais le temps nécessaire pour explorer les BD dans leur ensemble (images et bulles comprises) était plus court que pour le texte. Contrairement à ce qui a été observé

chez les enfants en cours d'apprentissage de la lecture, les adultes normolecteurs restituaient autant d'informations dans la BD que dans le texte, mais dans un temps plus restreint. Par ailleurs, la lecture des mots dans les bulles était plus rapide que dans le texte, ce qui suggère que le traitement de la composante verbale est facilité par celui de l'image.

Pour répondre à nos deuxième et troisième questions, nous avons testé plusieurs hypothèses issues du modèle de Sonine et Chanquoy (2007). Une première hypothèse était que les images seraient plus rapides à traiter que les mots dans les bulles. Nous avons ainsi montré que les images étaient explorées moins longtemps que les mots dans les bulles. Les fixations sur les images étaient également plus courtes et moins nombreuses que sur les mots des bulles, ce qui suggère un coût cognitif moins important pour le traitement des images. La distance totale parcourue par l'œil était également moindre dans la BD par rapport au texte, ce qui suppose une extraction de l'information plus aisée dans la BD. La réduction de la vitesse de lecture semblait également liée à une réduction du nombre de fixations sur les mots des bulles par rapport au texte, et donc à une extraction de l'information facilitée.

Une deuxième hypothèse issue du modèle de Sonine et Chanquoy (2007) était que le traitement de l'image serait pris en compte de manière prioritaire pour la construction de la représentation du contenu de la BD. Nous avons constaté que les premières fixations sur les cases tombaient plus souvent sur les images que les fixations suivantes, ce qui suggère que les participants ont une préférence pour les images pour déclencher le traitement du contenu d'une case. La dernière hypothèse testée était que les informations verbales étaient intégrées à la représentation de base créée à partir du traitement de l'image. Nous avons ainsi observé que les images étaient visitées plus souvent que les

bulles. Les lecteurs pourraient utiliser les images à la fois pour récupérer les informations manquées lors d'une première exploration, et pour intégrer les informations traitées.

Article 2 : Is comprehension in comics more effective than in traditional texts in skilled adult readers? An eye movement-based study

Is comprehension in comics more effective than in traditional texts in skilled adult readers? An eye movement-based study

Maud RASAMIMANANA

Aix Marseille Univ, CNRS, CRPN, InCIAM, Marseille, France
maud.rasamimanana@univ-amu.fr

Raphaël MIZZI

Aix Marseille Univ, CNRS, CRPN, InCIAM, Marseille, France
Raphael.mizzi@univ-amu.fr

Jean-Baptiste MELMI

Aix Marseille Univ, CNRS, CRPN, Marseille, France
Jean-baptiste.melmi@univ-amu.fr

Sophie SAFFI

Aix Marseille Univ, CAER, Aix-en-Provence, France
Sophie.saffi@univ-amu.fr

Pascale COLE

Aix Marseille Univ, CNRS, CRPN, InCIAM, Marseille, France
Pascale.cole@univ-amu.fr

Corresponding authors: Maud Rasamimanana (maud.rasamimanana@univ-amu.fr) and Pascale Colé (pascale.cole@univ-amu.fr)

Acknowledgment

The project leading to this publication has received funding from the Excellence Initiative of Aix-Marseille University - A*Midex, a French “Investissements d’Avenir programme” AMX-19-IET-005. MR was supported by a PhD scholarship from the Institute for Creativity and Innovation of Aix-Marseille University (InCIAM).

We thank Abdessadek El Ahmadi, Eric Castet and Aurélie Calabrèse for their precious advice concerning statistical analysis and Johanna Guinet for her help during data collection.

Data availability statement

The data that support the findings of this study are openly available in the OSF repository at https://osf.io/usm3x/?view_only=7291315345c647f594968b2c1064529c. The materials used in this study are not publicly available due to copyright restrictions.

Conflict of interest disclosure

The authors report there was no competing interest to declare.

Ethics approval statement

Participants written consent was obtained before the experiment. The research was approved by Aix-Marseille University's Ethics Committee (no. 2021-02-11-010).

Permission to reproduce material from other sources

The authors did not receive permission to reproduce the material used in the study.

Abstract

Reading comprehension has been mostly studied using traditional texts and very little is known about reading comprehension in comics. We wanted to find out whether comics could enhance comprehension processes compared to traditional text and what cognitive processes might be involved in this effect. Furthermore, we explored the functional role of pictures in understanding comics. 40 **s**killed readers read the comic and text version of two already published stories and answered comprehension questions. Eye movements were recorded during reading. We found no differences in reading comprehension performance. However, comics were explored faster than traditional texts. Importantly, reading speed of words in balloons was faster than in traditional texts. An analysis of eye movements suggests that the presence of pictures facilitates the extraction of information, with shorter total saccadic amplitude on the pages of comics than in text. When reading comics, participants spent less time on the pictures than the balloons and this behavior was associated with shorter and fewer fixations. Pictures were also used as an entry point for reading a panel, as the first fixation in the panel fell more frequently on the pictures and the readers returned to them more often than to the balloons. Because pictures are processed faster than words, they may be used to construct a first representation of the content of the story, which can be used to facilitate the processing of the whole story and, more specifically, of its verbal component. This strategy is not available in traditional texts.

Keywords: reading comprehension, comics, eye movements, skilled adult readers

4.1. Introduction

Until recently, reading studies focused mainly on the reading of traditional linear texts. As a result, knowledge about reading processes comes mostly from research involving traditional texts. However, reading practices have evolved considerably during the past decades due to the development of new types of reading materials, such as digital and multimedia formats (that is, reading supports involving both words and pictures). Comics are a good example of multimedia supports and have seen a tremendous rise in popularity in recent years, now being considered to be one of the most popular reading modes. For example, comic book sales in France increased by 55.8% between 2020 and 2021, making them the 2nd largest sector of the publishing market (Syndicat National de l'Edition, 2022). In North America, comic book sales benefited from the outbreak of COVID-19, increasing by 62% during 2021, a trend which continued in 2022 (ICv2, 2023). Although the proportion of comic readers in the population decreases with age, comics 'aren't just for kids', as 43% of the French population between 16 and 75 years still read comics (Vincent Gerard et al., 2020). Consequently, interest in comics and their potential use, in particular in the fields of literacy and education as well as for scientific communication, is growing fast (Crawford, 2004; Farinella, 2018; Jee & Anggoro, 2012; McVicker, 2007; Schwarz, 2006; Tatalovic, 2009). Our aim in the present study was to better understand some of the cognitive processes involved in comprehension when reading comics. We investigated how readers build a mental representation of the story's content, i.e., a situation model (van Dijk & Kintsch, 1983), from the processing of pictures and words in balloons (Jee & Anggoro, 2012) compared to traditional texts. We also sought to examine the interplay between these two components, focusing on how pictures may influence the reading of words in comics in contrast to traditional texts. Therefore, for the sake of clarity, we excluded works and theoretical propositions about comprehension in visual narratives that rely solely on pictures (Cohn, 2019; L. C. Loschky et al., 2020).

4.1.1. How do we read/process comics?

Comic books are a particular form of multimedia support which mobilize both words and pictures to narrate a story or convey information (Jee & Anggoro, 2012). As such, comics have two specific characteristics that are not found in other multimedia texts (for example, textbooks or newspapers). Firstly, in most multimedia supports, pictures and text are juxtaposed next to each other, while the verbal and pictorial components in comics are fully integrated, as texts are embedded in the pictures by means of balloons and captions. The spatial proximity of pictures and text may promote the integration of the two components, which could in turn foster reading and learning (Johnson & Mayer, 2012), especially in poor readers (Yum et al., 2021). Secondly, multimedia supports often include only one picture, while comics present multiple pictures on the same page or in the same layout. These pictures are organized in a meaningful sequence (Cohn et al., 2012; Foulsham et al., 2016; McCloud, 1993).Thus, the cognitive processes involved in the integration of the two modalities (pictorial and verbal) in comics may differ from those deployed in response to multimedia supports that only contain one picture. Indeed, in multimedia supports, the pictorial component only plays a supportive semantic role and may be removed with little effect on comprehension. In comics, the pictorial and the verbal components are both equally necessary for comprehension (Cohn, 2016; Cohn & Schilperoord, 2022). For all these reasons, the term "multimedia supports" will be used in this article to refer to "classical" multimedia texts.

Because research on comic supports is scarce, the conceptual framework developed through research about learning processes in multimedia supports may be valuable to enhance our understanding of the cognitive processes involved in reading comics. Multimedia supports have been shown to be an effective way to convey information, as learning from combined text and image is more efficient than learning from text without pictures (see for reviews: Anglin et al., 2013; Houts et al., 2006; Levie & Lentz, 1982; Mayer, 2009). This effect is

known as the *multimedia effect*. Mayer (2009) proposed an interesting general framework, named the Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML), to explain the benefits multimedia texts may have compared to text alone. According to this model, reading and learning from multimedia supports require three different processing steps. First, attentional processes are deployed to extract, i.e. *select*, relevant words and pictures. Next, the selected information is *organized* into two coherent models, resulting in the generation of one pictorial and one verbal model. Finally, the two models are *integrated* into a unified final model, allowing readers to fully make sense of the content of the support. Thus, adding pictures to a text would stimulate readers to create a pictorial and a verbal model of the content, allowing them to build connections between these two models, which in turn could enhance comprehension and learning.

Sonine and Chanquoy's model (2007) is another proposal which focuses specifically on comic comprehension processes. In particular, this model builds on the numerous results reporting that semantic access is faster for pictures than for words (see, for example, Bajo, 1988; Potter & Faulconer, 1975, and Glaser, 1992 for a review). In this model, both the pictorial and verbal components of comics are processed in parallel. Firstly, the visual processing of both pictorial and verbal (word-based) features is engaged in parallel. Readers then build mental representations of the verbal and the pictorial components. Semantic processing (i.e., the generation of the mental representation of the content) is faster for pictures than for the verbal component, as the former are not mediated by words. As a result, readers are able to elaborate an initial representation of the comic's content, named the basic representation, based on the content of the pictorial representation. This basic representation may stimulate mechanisms that either suppress or enhance potential concurrent semantic interpretations and thereby facilitate the ongoing semantic processing of the verbal component. Thus, in this model, picture processing may preactivate relevant semantic

information, which is then used in a top-down manner for processing the content of balloons and captions, thereby facilitating the processing of the verbal component. This hypothesis is supported by previous studies that investigated whether viewing a picture before reading a text may increase reading speed (Eitel, Scheiter, & Schüler, 2013a; Lindner et al., 2017). The final step in Sonine and Chanquoy's model (2007) consists of integrating the verbal representation with the basic representation, which is done by reinforcing or updating this first semantic representation. Thus, the processing of comics may result from an "identification – processing – interaction" cycle, which may be repeated for each fragment/panel of the comic. To test their model, the authors presented comic strips panel-by-panel to adult skilled readers. They used three types of presentation: verbal component only, pictorial component only or both components. Participants had to summarize each panel with one word. The words elicited by the presentation of the verbal component only were more varied and less consistent than for the pictorial component only or for the whole, two-component panel. These results suggest that the pictorial component activates a more strongly associated and narrower lexical and conceptual network. In addition, the overlap between the concepts elicited by the whole panel and the pictorial component was greater than that between the concepts elicited by the whole panel and the verbal component, suggesting that the representation of the comic strips is driven by the processing of the pictures.

A comparison of comics and traditional texts in L2 learners shows that comics exert a multimedia effect (Liu, 2004; Wong et al., 2017; Yum et al., 2021). However, the behavioral results for memory and comprehension performances in comics are inconsistent in skilled readers and L1 speakers. Previous results have shown better verbatim recognition (i.e. recognition of words or sentences displayed in the supports) in comics than in text (Short et al., 2013), together with better literal comprehension (Aleixo & Sumner, 2017). However, several studies have reported no improvement on literal (Lin et al., 2014; Short et al., 2013;

Yum et al., 2021) or inferential comprehension (Short et al., 2013). Finally, comics have been used to train decision-making in expert US Navy officers. Although training with comics or with texts did not result in differences in performances, comics were processed faster than texts, thus reducing the time needed for the cognitive training (Nalu & Bliss, 2011).

Eye tracking has been widely used to explore reading processes in classical multimedia learning (Alemdag & Cagiltay, 2018). Only a small number of studies of the reading of comics have used eye movements to better understand the cognitive processes involved in this activity. These studies show that pictures may play a central role in the comprehension of comics. The results of a study investigating the use by teenagers of comics combined with maps to learn geography showed that the more the participants looked at the pictorial components (maps and characters), the better their comprehension of the comics' content was (von Reumont & Budke, 2020). Similarly, Laubrock et al. (2018) observed that adult skilled readers made more fixations on pictorial components than verbal components when returning to an already visited panel, probably because they tried to look for visual information which they had missed the first time. Finally, these studies using eye movements in comics suggest that pictures may prime lexical semantic processing inside a panel. Thus, in comics, Laubrock et al. (2018) observed that the first fixation on each panel landed more frequently on the picture than on the text (see also Carroll et al., 1992, for similar conclusions in single-panel comics). However, the organization of the panel, for example in terms of the position and length of the text, appears to modulate the location of this first fixation on panels (Kirtley et al., 2018).

4.1.2. The Present Study

Few previous studies have compared comprehension performances in comics and traditional texts (to our knowledge, about 7 have been published) and the behavioral results are

inconsistent. This could be the consequence of two main methodological choices. First, the method used to create the text and comic supports may have modified the content of the supports and may have resulted in the comprehension facilitation effect observed with comics in some studies. For example, in Aleixo and Sumner's study (2017), texts were created from comics by removing the pictures and presenting the verbal components as continuous prose, with better comprehension being observed when both modalities were present. Conversely, creating comics on the basis of texts by adding them verbatim in the picture captions and balloons may reduce the benefit of the pictures, especially in skilled readers such as those participating in Yum et al. (2021). In most studies, comics have been on the basis of texts and it is possible that the semantic contents may differ significantly between the two supports. For example, Lin et al. (2014) added everyday life context and humoristic contents to comics to enhance readers' interest. More crucially, when using existing supports or creating new comics based on texts, the previously cited studies did not use any procedure to ensure that the two supports were equivalent in terms of transmitted semantic contents. Second, the presence of a time limit to read the comic or text, as in Short's study (2013), could also benefit comprehension and memory for the comic supports as they may be read faster than traditional text.

To handle these methodological challenges, we used stories previously published in both formats and controlled for the provided semantic information. When adapting novels into comic form, authors make important choices about what and how verbal text is converted/translated into visual form (Saltzman, 2017) and how to arrange the panel to direct the reader's attention toward the information that is relevant for telling the story (McCloud, 2006). To take this particularity of comics into account, we performed a content analysis to ensure that both the text and comic supports presented all the information needed to understand the stories and answer subsequent questions. Finally, we recorded eye movements

during reading. Although some research has studied the factors influencing eye movements when reading comics (Foulsham & Cohn, 2020; Ishii et al., 2004; Kirtley et al., 2018, 2023; Laubrock et al., 2018), no study has used eye movements to compare traditional texts and comics. The present study aimed to answer three questions. The first was to determine whether it is easier to process the content of the story in comics than in text, as suggested by the multimedia effect first described in the CTML (Mayer, 2009). In addition, Sonine and Chanquoy's model (2007) predicts that the presence of a picture could facilitate the processing of the verbal component. Thus, our second question concerned the processes involved in any facilitation effect we might observe. More precisely, we wanted to know how the presence of pictures in comics may impact the extraction of information from the page as a whole as well as from its verbal component. Finally, our last question aimed at clarifying the role of the pictures in the elaboration of the final representation of the content of comics.

4.1.2.1. Do comics facilitate the elaboration of the representation of the content of the story?

Mayer's CTML (2009) proposed that the presence of pictures in comics can support the elaboration of the final semantic representation of the story. We therefore developed two alternative hypotheses that we could test based on the comprehension scores (literal and inferential questions about the story) for the whole story presented in the two formats. If the presence of pictures in comics can contribute to the elaboration of the final semantic representation, as predicted by Mayer's CTML (2009), we should observe better performance on both literal and inferential questions after reading comics rather than texts. However, we are also aware that some previous studies have reported similar comprehension performance in skilled adult readers (Lin et al., 2014; Nalu & Bliss, 2011; Short et al., 2013; Yum et al., 2021) irrespective of whether they read comics or traditional texts, and that better comprehension scores in comics may be associated with methodological bias. We may

therefore observe similar comprehension performance for both comics and traditional texts. We expected overall story exploration indicators such as total exploration time (that is, the time needed to process the whole story, pictures and balloons included in the case of comics) to be shorter in comics than in text because some of the information present in traditional texts is contained in pictures in comics and pictures are processed faster than text (Potter & Faulconer, 1975).

Finally, Sonine and Chanquoy's model (2007) predicts that the presence of pictures will facilitate the processing of the verbal component in comics compared with traditional texts. We therefore tried to obtain a more precise measure of the efficiency of elaboration of the verbal representation based on comics compared with text by calculating reading speed, that is, the number of words read in a minute (obtained by dividing the number of words in each support by the time spent reading in comic balloons or in traditional texts). Because the processing of pictures in comics may facilitate the processing of words in balloons, we expected reading speed to be faster in comics than in text (Eitel, Scheiter, Schüler, et al., 2013b).

4.1.2.2. How do comics facilitate comprehension processes?

To answer this question, we investigated two complementary hypotheses, both derived from Sonine and Chanquoy's model (2007). First, this model suggests that the pictorial representation should be easier to elaborate than the verbal representation. To test this assumption, we analyzed the way pictures and balloons were explored and processed in comics with the help of indicators such as the viewing time, i.e., time spent inside each type of area of interest (balloon vs pictures), and the number and mean fixation duration in comics. We expected shorter viewing time, shorter mean fixation duration, and fewer fixations for pictures than for balloons. Secondly, as some information from traditional text is translated

into pictures in comics, information may be extracted more efficiently from comic pages than from traditional texts. In other words, it would be easier to extract the semantic representation of the story that is being read in a comic than in a traditional text. The result could be that the participants' gaze covers a shorter distance in a comic than in a traditional text (Kotval & Goldberg, 1998). As far as the verbal component is concerned, the mean fixation duration and the number of fixations are known to be linked to the difficulty of the text (Rayner et al., 2006). We therefore expected there to be fewer and shorter fixations on the verbal components of comics than on texts.

4.1.2.3. How do we integrate the pictorial and verbal components of comics?

Sonine and Chanquoy (2007) postulate that pictorial information is given priority when building the final representation of the contents of a comic book. In accordance with this hypothesis, fixations when entering a panel for the first time should initially land on pictures more often than during later fixations to the same panels (Laubrock et al., 2018). In addition, if the pictorial representation is used as a basis for integrating the two components, pictures may also be used for the integration of the verbal with the pictorial representation as well as for revising this basic representation. Thus, readers may need to look back at previously seen pictures, leading to a greater number of runs (i.e., sets of consecutive fixations in the same area of interest) in pictures than in balloons.

4.2. Materials and methods

4.2.1. Participants

A total of 40 participants (23 women and 17 men; mean age: 21.57), all students from Aix-Marseille University (mean years of higher education: 2.8) and native French speakers, took

part in the study. They had normal or corrected-to-normal vision, normal audition, and had a non-verbal IQ (Raven's Matrices : Raven, 2003) and visuo-spatial abilities (assessed with Complex Rey Figure ; Rey, 1959) within the normal range. None of them reported either any neurological or psychiatric disorder.

We ensured that the participants had no history of reading difficulties (Adult Reading History Questionary under .47 ; Cavalli et al., 2024) and no reading impairments, all of them achieving a reading fluency score (CTL score) above the optimal cutoff of the French "Alouette" test (Cavalli et al., 2018). We assessed comic reading expertise with the Visual Language Fluency Index (VLFI, Cohn, 2014), as this can greatly influence the comprehension of comics. This index was computed for each participant based on the participant's comic reading and production habits, for different types of comics and during different periods of life. According to Cohn, most of the participants had low to average visual language fluency (low: n = 15, average: n = 22, high: n = 3; mean score: 10.86 and sd: 5.41, Cohn, 2014), suggesting a generally low familiarity with comic supports. Consequently, we did not find any correlation either between VLFI and comprehension scores for comics ($r = 0.05$, $p = .074$) or between VLFI and exploration time ($r = -0.23$, $p = .15$).

Written consent was obtained before the experiment. The research was approved by Aix-Marseille University's Ethics Committee (no. 2021-02-11-010).

4.2.2. Materials

Two stories published as traditional novels and adapted into graphic form were used in the experiment (T1 and T2). T1, entitled "C'est pour ça que je m'appelle Giovanni" ("That's why I'm called Giovanni"), was written by Luigi Garlando and adapted by Claudio Stassi. T2, entitled "Le Der des ders" ("The Last of the last", our translation), was written by Didier Daeninckx and illustrated by Jacques Tardi. T1 illustrations were in color, whereas T2

illustrations were in black and white. We presented the first pages of each support (excluding covers) to make sure that the readers had all the information needed to understand their content. The characteristics of the two stories are described in Table 4.1. The comics contained approximately the same number of panels (21 and 22 panels) and pages. In addition, the number of words in the comics amounted to approximately 1/3 of the number of words in the original (33% for T1 and 37% for T2). However, T1 text version had fewer words and pages than T2.

Table 4.1. Characteristics of the novel and comic versions of the two stories.

Title	**C'est pour cela que je m'appelle Giovanni**		**Le Der des ders**	
Medium	Novel	Comic book	Novel	Comic book
Author/Scenarist	L. Garlando	C. Stassi	D. Daeninckx	D. Daeninckx
Illustrator		C. Stassi		J. Tardi
Year of publication	2004	2011	1988	1997
Number of pages	4	4	6	4
Number of panels		22		21
Number of captions and speech balloons		35		28
Number of words	1054	348	1394	522

The two stories were selected because their comic adaptions were similar to the original novels. To ensure that the two supports contained similar information, a linguist, specialist in comic corpora of our research team, constructed comparative tables for each story. These tables summarize all the semantic information present in the first pages of the novel and the

locations where this information is transposed to the comics, i.e., in pictures, balloons or captions.

Based on these tables, we created comprehension questionnaires for each story. These contained both literal questions, related to information explicitly present in both the comics and novels, and inferential questions, which required the participants to draw on their knowledge or to make connections between different pieces of information in the story. Questions could be open or multiple-choice. The maximum score for literal questions was 8 for T1 and 11 for T2. The maximum score for inferential questions was 10 for both stories. Cronbach's alpha value was 0.705 across the two questionnaires and both types of questions taken together.

4.2.3. Procedure

Participants read both stories on counterbalanced media, with the first half of the group reading the comic version of T1 and the text version of T2 and vice versa for the other half. The order of media and stories was counterbalanced using a Latin square design. The participants sat at a comfortable distance from a portrait-format screen that is suitable for comic-book layouts. They could control their reading speed by moving from page to page using a keyboard in front of them but were not allowed to return to a previous page. After each story, they had to answer oral comprehension questions.

After the main comprehension task, the participants performed various control tasks designed to evaluate the different cognitive abilities described above.

4.2.4. Eye movements

Eye movements were recorded using an Eyelink Portable Duo (SR Research) in Head Free-to-Move Tracking mode. Head movements were limited by means of a chin rest. Gaze locations

were recorded at a sampling rate of 1000 Hz, based on pupil and corneal reflection. Before each story was read, we performed a 9-point calibration and validation, and this procedure was repeated until the validation error was smaller than 1° on average and 1.5° for the worst point. The mean validation error across participants was 0.35° (sd = 0.10). Drift correction was also performed between each page. The experiment was monitored with SR Research's Experiment Builder software.

Ocular data were extracted using Data Viewer's (SR Research) default parser. Because drift correction was centered on the page, the first fixation and saccade of each page were excluded from the analysis. In the case of the comics, when a fixation did not fall within a specific area of interest (picture or text), we considered that it fell within the closest area of interest (based on the shortest distance to the closest edge of an area of interest).

4.3. Results

The data were processed and graphics produced using R language (R Core Team, 2022) and the Tidyverse package (Wickham et al., 2019). Statistical analyses were conducted using the rstatix (Kassambara, 2023) and JSmediation (Batailler et al., 2023) packages.

4.3.1. Do comics facilitate the elaboration of the representation of the content of the story?

To answer this first question, we performed a repeated-measures ANOVA, with Media (comic vs text) and Question Type (literal vs inferential) as within variables for the **comprehension scores** (percentage of correct responses). We also calculated the **exploration time** determined as the time needed to process the whole story, pictures and balloons included in the case of comics, and the **reading speed** determined as the number of words divided by the total reading time (the sum of all fixation and saccade durations for text supports and that

of fixation and saccade durations directed toward balloons and captions for comics). We performed repeated-measures ANOVAs for these two dependent variables (1b and 1c) with Media as the within variable.

The descriptive statistics (means and standard deviations) are shown in Table 4.2.

Table 4.2. Descriptive statistics and p-values associated with different measures comparing comics and texts.

	Comics	**Texts**	**p-value**
	Mean (SD)	**Mean (SD)**	
Comprehension scores	43.90 (25.47)	42.49 (22.04)	.755
Literal Questions (max = 12)	53.81 (26.44)	53.23 (20.91)	
Inferential Questions (max = 12)	34.0 (20.36)	31.75 (17.53)	
Exploration Time (sec)	156.93 (61.01)	340.43 (115.63)	< .001
Reading speed (wpm)	273.30 (97.11)	236.86 (69.19)	.008
Total saccadic amplitude (°)	1269 (551)	4086 (1551)	< .001
Number of fixations (per word)	0.80 (0.32)	1.03 (0.32)	< .001
Fixation duration (msec, on words)	284.34 (50.52)	228.41 (33.02)	< .001

Regarding the comprehension score, the effect of Media did not reach significance ($F < 1$). We also found that, overall, the participants scored higher on the literal ($M = 53.52\%$, $sd = 23.71$) than the inferential questions ($M = 32.87\%$, $sd = 18.91$; $F(1, 39) = 66.67$, $p < .001$, $\eta p^2 = 0.631$). The interaction between Media and Question Type was not significant ($F<1$).

Media had a significant effect, showing that comics were explored faster than texts ($F(1, 39) = 76.602$, $p < .001$, $\eta_p^2 = 0.663$).

Finally, reading speed was higher for comics than for texts ($F(1, 39) = 6.831$, $p = 0.013$, $\eta_p^2 = 0.149$).

4.3.2. How do comics help comprehension?

To answer this second question, we conducted two types of analyses. In the first, we tested the

hypothesis that the pictorial representation should be faster to generate than the verbal representation when reading comics. We thus performed repeated-measures ANOVAs with Type of Area of Interest (pictures vs balloons) as the within variable in comics for **Viewing time**, calculated as the total time spent inside the two types of area of interest, as well as the **mean duration and number of fixations**.

For the second type, we tested the efficiency of the extraction of information, when processing the whole page, and the content of the balloons. Thus, for whole-page processing, we conducted a repeated-measures ANOVA with Media as the within variable for the **total saccadic amplitude**, calculated as the sum of the amplitudes of all the saccades in comics and text. For the processing of the content of the ballons, we conducted repeated-measures ANOVAs with Media as the within variable for the **number of fixations** needed to read a word, calculated as the total number of fixations in texts or the number of fixations falling in balloons and captions in comics divided by the total number of words, as well as the **mean fixation duration** on the words in comics and texts. The descriptive statistics (means and standard deviations) are shown in Table 2.

Viewing time and number and duration of fixations in comic pictures and balloons

Viewing time was shorter in pictures (M = 37.79 s, sd = 17.47) than balloons (M = 99.42 s, sd = 44.33, $F(1, 39) = 90.405$, $p < .001$, $\eta_p^2 = 0.699$). More precisely, the participants made fewer and shorter fixations in pictures (number of fixations: M = 153.15, sd = 69.71; fixation duration: M = 246.87 msec, sd = 34.12) than in balloons and captions (number of fixations: M = 363.95, sd = 198.05; $F(1, 39) = 60.24$, $p < .001$, $\eta_p^2 = 0.607$; fixation duration: M = 284.34 msec, sd = 50.52; $F(1, 39) = 39.494$, $p < .001$, $\eta_p^2 = 0.503$).

Total saccadic amplitude in comics and texts

Total saccadic amplitude was shorter in comics than in texts ($F(1, 39) = 136.537$, $p < .001$,

$\eta p^2 = 0.6$; see Figure 4.1).

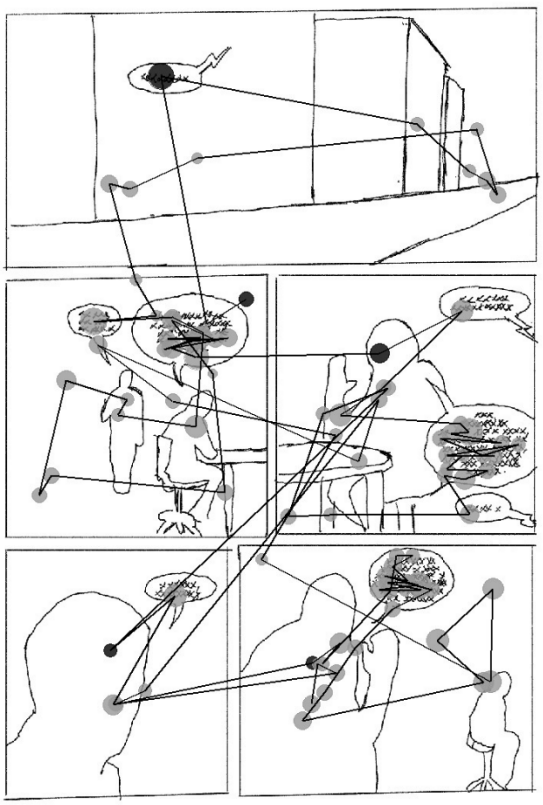
Number and duration of fixations in comic balloons and texts

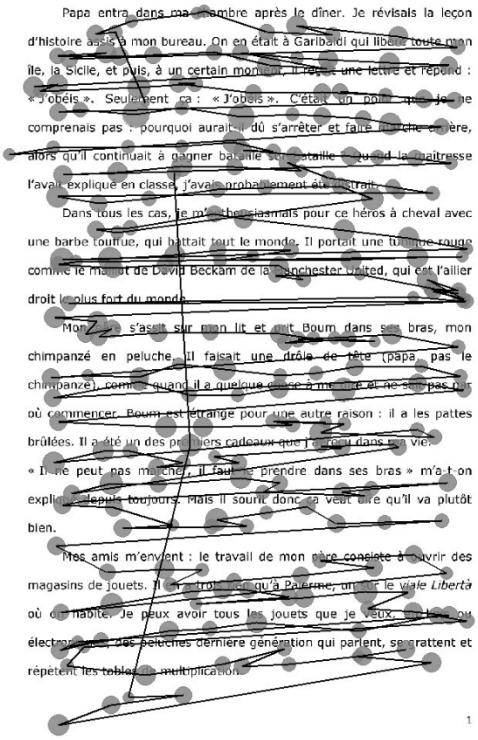
The words in comics required fewer fixations than those in texts ($F(1, 39) = 23.73$, $p < .001$, $\eta_p^2 = 0.378$). However, fixations were longer in the comics than in the texts ($F(1 , 39) = 127.03$, $p < .001$, $\eta_p^2 = 0.765$).

Given that reading speed varied with the total number of fixations and fixation duration (Rayner, 1998a), we also performed two simple mediation analyses to identify which of these two parameters, number of fixations or fixation duration, mediated the effect of Media (comic book vs text) on reading speed (Calabrèse et al., 2014). We therefore log-transformed all three variables and mean-centered the number of fixations and fixation durations for these analyses. We then conducted a joint significance test (Yzerbyt et al., 2018).

Figure 4.1. Examples of scanpaths for two participants for the comic (left) and text version of T1. In the comic version, first fixations of each panel are in a different color. Circle sizes are proportionate to fixation duration. The comic page has been schematized to comply with copyright policies. The first panel portrays an Italian street scene. Panels two through four depict the main character and his father engaged in a discussion within a bedroom setting. The

final panel features the father holding a stuffed monkey in his hand.



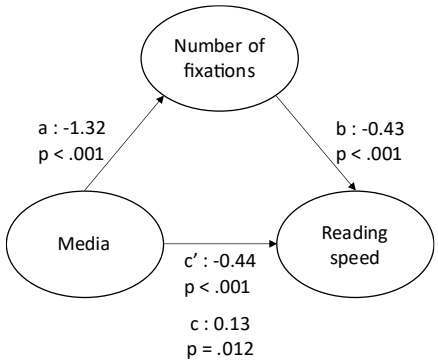


The mediation analyses showed that the total effect of the media on reading speed was significant ($t(39) = 2.80$, $p = .008$). We then tested whether the number of fixations mediated the effect of Media on reading speed. This analysis revealed a significant negative effect of Media on the number of fixations ($t(39) = 12.63$, $p < .001$) and a significant negative effect of the number of fixations on reading speed ($t(37) = 12.62$, $p < .001$). Using the Monte Carlo resampling method, the magnitude of the indirect effect was estimated at 0.574 (95% CI: [0.451, 0.709]). The effect of Media on reading speed after controlling for the number of fixations was significant, but changed direction ($t(37) = 8.85$, $p < .001$). Regarding the effect of Media on reading speed, the results of the mediation analysis of the number of fixations are shown in Table 4.3Table 4.3. Mediation analysis pathways between Media, Reading Speed and Number of Fixations.. These results suggest the presence of a suppression effect, as the direct and indirect effects have

opposite signs (MacKinnon, 2000). In other words, comics reduced the number of fixations, the reduced number of fixations increased reading speed, and this indirect positive effect of Media on Reading Speed through Number of Fixations suppressed the direct negative effect of Media on Reading Speed.

Table 4.3. Mediation analysis pathways between Media, Reading Speed and Number of Fixations.

Path	Estimate	SE	t	p	
a	-1.32	0.10	t(39) = 12.63	< .001	***
b	-0.43	0.03	t(37) = 12.63	< .001	***
c	0.13	0.05	t(39) = 2.80	.012	*
c'	-0.44	0.05	t(37) = 8.69	< .001	***

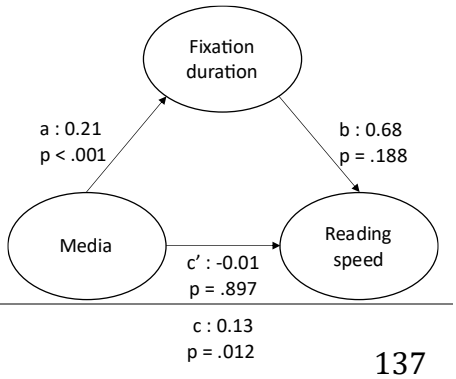


Path a: Regression of the number of fixations on Media; b: Regression of reading speed on the number of fixations; c: Regression of reading speed on Media; c': Regression of reading speed on Media after controlling for the number of fixations.

There was a significant effect of Media on fixation duration (t(39) = 12.92, p < .001) but no effect of fixation duration on reading speed (t(37) = 1.33, p = .193). Results from the mediation analysis of the number of fixations on the effect of the Media on reading speed are shown in Table 4.4. As the Fixation duration effect on reading speed was not significant, it is not possible to conclude that the Fixation duration effect mediated the effect of Media on Reading speed.

Table 4.4. Mediation analysis pathways between Media, Reading Speed and Fixation Duration.

Path	Estimate	SE	t	p	
a	0.21	0.02	t(39) = 12.92	< .001	***
b	0.68	0.51	t(37) = 1.34	.188	
c	0.13	0.05	t(39) = 2.62	.012	*



c'	-0.01	0.12	t(37) = 0.13	.897

Path a: Regression of the number of fixations on Media; b: Regression of reading speed on the number of fixations; c: Regression of reading speed on Media; c': Regression of reading speed on Media after controlling for fixation duration.

4.3.3. How do we integrate the pictorial and verbal components of comics?

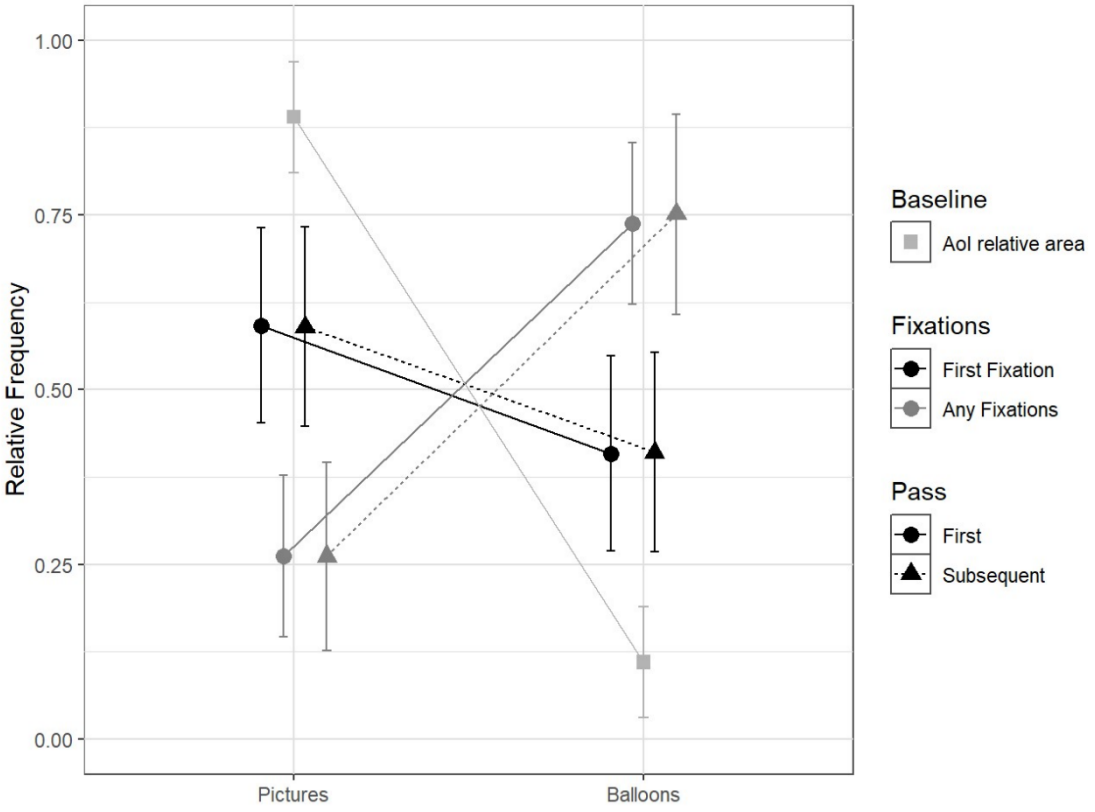
To answer our third question, we conducted a repeated-measures ANOVA on the results for comics only, with Type of Fixation (first vs later), and Number of Pass (first visit vs subsequent visit) as within variables and the **probability of the first and later fixations landing on pictures** as the dependent variable. For this analysis, we used the same procedure as in Laubrock and colleagues' study(2018). Finally, we performed a repeated-measures ANOVA with Type of Area of Interest (pictures vs balloons) for the mean **number of runs** as the dependent variable.

Fixation locations

Figure 4.2 illustrates the relative frequency of fixations on pictures or balloons as a function of whether or not the fixation was the first fixation of the pass and whether the pass was the first or a subsequent pass. The relative area of the AOI is represented in gray for comparison. Pictures represented 88.99% of the area of the panel. When participants visited a panel, their first fixations fell more frequently on pictures (M = 0.59, sd = 0.14) than was the case for subsequent fixations (M = 0.26, sd = 0.12; $F(1,37) = 545.88$, $p < .001$, $\eta_p^2 = 0.937$). There was no effect of the Number of Pass ($F < 1$) and no interaction between Pass and Number of

Fixation (F < 1).

Figure 4.2. Relative frequency of the first (in black) and subsequent fixations (in dark grey) on pictures and balloons, for the first (circle and full line) and subsequent passes (triangle and dotted line). The relative area occupied by the two components is represented in light gray.



Number of runs

Pictures (M = 2.30, sd = 0.78) received more runs than balloons and captions (M = 1.99, sd = 0.67; F(1, 39) = 39.237, p < .001, η_p^2 = 0.502).

4.4. Discussion

The main aim of this study was to better understand the cognitive processes involved in the potential benefits for comprehension of comics compared to traditional text. We formulated three questions, based on two models: the Cognitive Model of Multimedia Learning (CTML ; Mayer, 2009) and Sonine and Chanquoy's model (2007).

4.4.1. Do comics facilitate the elaboration of the representation of the content of the story?

As previous studies have presented many methodological biases, we first asked this very general question in order to determine if comics can facilitate the building of the final representation of the story and the processing of the verbal component more than is the case with traditional texts. Regarding the final representation, the CTML predicts that comics will result in better comprehension than text as comics display both verbal and pictorial elements. However, no differences in reading comprehension were observed between comics and traditional texts either for literal or inferential questions. The quality of the final representation of the story may therefore be similar for the two media. By contrast, we did find shorter exploration times for comics than for traditional texts. Comics might have allowed readers to extract as much information as texts, but within a shorter amount of time.

The results of previous studies concerning the multimedia effect on comprehension are inconsistent, with some studies showing that skilled adult readers understand comics better than texts (Aleixo & Sumner, 2017; Wong et al., 2017) and others finding no differences between comics and texts (Nalu & Bliss, 2011; Short et al., 2013; Yum et al., 2021). We have argued that methodological differences, such as the procedure used to create the comic or text supports or the use of a time constraint, could explain this lack of consistency. In the field of scientific communication, Farinella (2018) suggested that the benefit of comics for comprehension and memory may be due to the introduction of a narrative structure, with the characters and storytelling encouraging engagement on the part of readers and their identification with the characters. By removing the pictorial component, and thus the characters and storytelling, from their comic material, authors such as Aleixo and Sumner (2017) may have eliminated the benefits that this narrative form might have for comprehension. In addition, in Wong et al.'s study (2017), comics were adapted from texts,

with text passages being converted into pictures where appropriate. To control for reading time, the authors applied the same time constraint for texts and comics (8 minutes). However, as reported in our study, comics are processed faster than traditional texts. A time constraint of 8 minutes may therefore be longer than is needed to explore the entire comic, allowing readers to read the same passage several times and elaborate exploration strategies, but too short for them to be able to elaborate the same kinds of strategies when reading traditional texts. In our study, however, we controlled for the presence of a narrative and allowed readers to explore the supports at their own speed and did not observe that comics facilitated comprehension any more than traditional texts. Thus, the presence of a narrative structure may better explain the benefits of comics for comprehension than the comic format per se. These results question the interpretation put forward by the CTML to explain the *multimedia effect* (Mayer, 2009), whereby the presence of a picture is thought to enhance comprehension as it encourages readers to create a pictorial mental model of the content of the supports and to make connections between the verbal and the pictorial model. Even though comics fulfill many of the criteria described in the CTML as fostering comprehension and learning, such as the spatial contiguity principle, which implies that supports are better learned when words and pictures are presented near each other, the presence of pictures is not sufficient to induce better comprehension scores when reading comics compared with traditional texts. Finally, few studies have highlighted the ability of comics to reduce the time needed to acquire information (but see Nalu & Bliss, 2011). Here, we showed that comics may be an interesting tool in contexts where readers need to process information in a limited time frame.

Regarding the effect of comics on the processing of the verbal component, the faster reading speed revealed that words were read more efficiently in comic balloons than in traditional texts, a finding that is consistent with Sonine and Chanquoy's model (2007). This suggests that the presence of pictures does indeed facilitate the processing of the words in balloons and

captions. These results are particularly important as ours is the first study to show that it can be easier to read information in comics than in traditional texts. Faster reading speed has also been found in a multimedia learning context, where seeing a picture for as little as 600ms before reading the associated text significantly reduced reading time compared with reading the same text without pictures (Eitel, Scheiter, & Schüler, 2013a). To explain their results, Eitel and colleagues developed an explanation which complements that proposed by Sonine and Chanquoy. This takes the form of the Scaffolding view hypothesis, which assumes that spatial information is better represented and more easily extracted from pictures. Thus, when processing a multimedia text about a pulley system, viewing the picture first may help readers to build a mental model of the global spatial structure of the system, and prevent them from building an inadequate representation when reading the text.

4.4.2. How do comics help comprehension?

To answer this question, we first tested the central assumption of Sonine and Chanquoy's model (2007), according to which pictures are easier and faster to process than words in comics. We observed fewer and shorter fixations, resulting in shorter viewing times in comic pictures than in balloons. It thus seems to be easier to elaborate the pictorial than the verbal representation. Although this result is not consistent with the scene perception literature, which typically shows longer fixation durations when viewing images than when reading words (Rayner, 2009; Rayner et al., 2001; Underwood et al., 1990), this pattern has been found in several studies using comics with adults (Laubrock et al., 2018) and sixth graders (Kinzer et al., 2012). Laubrock et al. (2018) argued that this result may come from the fact that visual scenes depicted in comics are less complex than natural scene perception, thus leading to shorter fixations. Secondly, in accordance with our hypothesis, we observed shorter total saccadic amplitude in comics than in traditional texts, reflecting the fact that it is easier to extract information from comics than texts (Kotval & Goldberg, 1998). Since part of the

information in comics is pictorial, and because the verbal component is embedded in the pictures via balloons and captions, information that is important for comprehension may be more salient and easier to retrieve in comics than in text. This can be seen particularly clearly in Figure 1, which shows the scanpath of two participants reading the text and comic versions of the same story, respectively. This, in turn, could reduce the time needed to explore the support.

Regarding the oculomotor behavior involved in elaborating the verbal representation, we expected that the faster reading speed would be explained by shorter and fewer fixations on comic balloons than on traditional texts. This hypothesis was partially confirmed, as we observed fewer, but longer, fixations on words in balloons than in traditional texts. This is an interesting finding since fewer and shorter fixations may commonly be associated with easier, less demanding processing (Krejtz et al., 2016; Rayner et al., 2006). Several hypotheses can explain why we observed longer fixations on the balloons in comics. First, it could be argued that longer fixations mean that balloons in comics are processed more deeply than texts in novels (Alemdag & Cagiltay, 2018). For instance, Jakobsen and Jensen (2008) showed that reading while translating elicited a longer mean fixation duration than reading for understanding. Another interpretation is that longer fixations may be due to the elicitation of a picture/text integration process that begins while the verbal component is still being processed, as suggested by Sonine and Chanquoy's model (2007). Longer fixations could also be due to the different fonts used in comics (Franken et al., 2015; Josephson, 2008). Indeed, because we used already-published comics, we did not control for the fonts used in these and in traditional texts. Thus, the fonts in the comics had a handwritten style which is typical of comics and could result in a longer mean fixation duration. Although mean fixation durations on words are longer in comics, the mediation analysis showed that their effect on reading speed is suppressed by the reduction of the number of fixations. In other words, the increase

in fixation duration in comics did not slow down reading speed, as the decreased number of fixations may have compensated for this effect. This finding is consistent with previous studies showing that reading speed is mainly influenced by the number of fixations rather than by fixation duration (Calabrèse et al., 2014). (Rayner *et al.*, 2006; Calabrèse *et al.*, 2014)

4.4.3. How do we integrate pictorial and verbal components of comics?

As predicted by Sonine and Chanquoy's model (2007), which expects pictorial information to be given priority when building the representation of the content of the story, we observed that when readers entered a panel, their first fixations tended to land on pictures more often than subsequent fixations, suggesting that priority may be given to the processing of the pictures in order to build a first basic representation of the content of the panel. The effect was similar in both first and subsequent passes, suggesting that readers specifically target the picture first when processing a panel. Similar results have been reported in Laubrock et al. (2018), who analyzed a corpus of six comic book excerpts, amounting to a total of 108 pages, read by 100 adult skilled readers, as well as for single-frame cartoons (Carroll et al., 1992). Processing the picture first allows readers to extract the semantic information from it and create a first representation of the content of the panel. They could then use this pictorial semantic information to implement top-down processes that may facilitate the processing of the verbal component, thus reducing the number of fixations needed to process the words in balloons and enhance reading speed.

One might argue that this interpretation holds if reading speed increases only in panels in which pictures are fixated before the words in balloons. However, even when balloons are fixated first, some evidence suggests that pictures processing may occur in parafoveal vision, during the word reading within balloons (Laubrock et al., 2018). Thus, a facilitation effect for word reading may be observable even if the picture is not fixated first.

Regarding the number of runs in pictures and balloons, and still in line with Sonine and Chanquoy's hypotheses concerning the role of pictures in the building of the basic representation, our results showed that pictures were revisited more often. This may reflect the integration of the verbal and pictorial components of the panel, with participants going back to the pictures after reading the content of the balloons or captions in order to correct or confirm the content of the semantic representation of the text being processed (Carroll et al., 1992; Rayner et al., 2001).

4.4.4. Limitations and future directions

One limitation of this study is its lack of statistical power, as we observed no differences between reading formats and no interaction between the Media and Question Type variables with regards to reading comprehension scores. This may have been due to the small sample size. Results of a post-hoc power analysis using the R package Superpower (Lakens & Caldwell, 2021) and based on the effect size of the reading comprehension score indicated that, in order to obtain 80% power, 2271 participants would have been needed to show a significant difference between comics and texts and 1859 to show a significant interaction between Media and Question Type. However, we may argue that the very high sample size needed highlights the fact that the difference between comics and texts for reading comprehension may be negligible.

Taken together, these results support the hypothesis that pictures and words are not of equal importance for the comprehension of comics. As comics are faster and easier to process and carry semantic information that would otherwise be contained in text form, they can be processed and understood faster. Although the CTML is the reference model in multimedia research, our results highlight several limitations of this model when studying comics. As discussed earlier, and contrary to the predictions of the CTML, we did not find any

improvement in reading comprehension when comparing comics to traditional texts, suggesting that the presence of pictures is not enough to enhance comprehension. In addition, the CTML is based on the assumption that there are two processing systems. The first of these is pictorial and is dedicated to perceptual information such as color or shape. The second is verbal and processes abstract semantic information (Dual Coding Theory; Paivio, 1986). This assumption implies that the semantic processing of words should be faster than that of pictures, as words are directly stored as abstract semantic concepts. However, our own results as well as previous studies (Potter & Faulconer, 1975; Shaul & Rom, 2019) show the opposite pattern of results, with the semantic processing of pictures being faster than that of words in balloons. This faster semantic processing of pictures may be responsible for the faster reading speed observed in comic-book balloons compared to traditional texts. Consequently, the CTML does not seem appropriate for exploring reading processes in comics. As an alternative model, Sonine and Chanquoy's proposal provides a better understanding of the cognitive processes reflected by our results by considering the top-down influence of pictorial semantic information on text processing. However, future studies will have to further explore the causal relationship between the presence of pictures and faster reading speed in comics.

References

Aleixo, P. A., & Sumner, K. (2017). Memory for biopsychology material presented in comic book format. *Journal of Graphic Novels and Comics*, *8*(1), 79-88. https://doi.org/10.1080/21504857.2016.1219957

Alemdag, E., & Cagiltay, K. (2018). A systematic review of eye tracking research on multimedia learning. *Computers and Education*, *125*(June), 413-428. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.023

Anglin, G. J., Vaez, H., & Cunningham, K. L. (2013). Visual representations and learning : The role of static and animated graphics. In D. Jonassen & M. Driscoll (Éds.), *Handbook of research on educational communications and technology* (p. 854-905). Routledge.

Bajo, M.-T. (1988). Semantic Facilitation With Pictures and Words. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *14*(4), 579-589.

Batailler, C., Muller, D., Yzerbyt, V., & Judd, C. (2023). *JSmediation : Mediation Analysis Using Joint Significance*.

Calabrèse, A., Bernard, J.-B., Faure, G., Hoffart, L., & Castet, E. (2014). Eye Movements and Reading Speed in Macular Disease : The Shrinking Perceptual Span Hypothesis Requires and Is Supported by a Mediation Analysis. *Investigative Opthalmology & Visual Science*, *55*(6), 3638. https://doi.org/10.1167/iovs.13-13408

Carroll, P. J., Young, J. R., & Guertin, M. S. (1992). Visual Analysis of Cartoons : A View from the Far Side. In K. Rayner (Éd.), *Eye Movements and Visual Cognition* (p. 444-461). https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2852-3_27

Cavalli, E., Brèthes, H., Lefèvre, E., Ahmadi, A. E., Duncan, L. G., Bianco, M., Melmi, J.-B., Denis-Noël, A., & Colé, P. (2024). Screening for Dyslexia in University Students : A

Standardized Procedure Based on Conditional Inference Trees. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *00*, 1-18. https://doi.org/10.1093/arclin/acad103

Cavalli, E., Colé, P., Leloup, G., Poracchia-George, F., Sprenger-Charolles, L., & El Ahmadi, A. (2018). Screening for Dyslexia in French-Speaking University Students : An Evaluation of the Detection Accuracy of the Alouette Test. *Journal of Learning Disabilities*, *51*(3), 268-282. https://doi.org/10.1177/0022219417704637

Cohn, N. (2014). *The Visual Language Fluency Index : A measure of "comic reading expertise."* www.visuallanguagelab.com/resources.html.

Cohn, N. (2016). A multimodal parallel architecture : A cognitive framework for multimodal interactions. *Cognition*, *146*, 304-323. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2015.10.007

Cohn, N. (2019). Visual narratives and the mind : Comprehension, cognition, and learning. In *Psychology of Learning and Motivation—Advances in Research and Theory* (Vol. 70, p. 97-127). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/bs.plm.2019.02.002

Cohn, N., Paczynski, M., Jackendoff, R., Holcomb, P. J., & Kuperberg, G. R. (2012). (Pea)nuts and bolts of visual narrative : Structure and meaning in sequential image comprehension. *Cognitive Psychology*, *65*(1), 1-38. https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2012.01.003

Cohn, N., & Schilperoord, J. (2022). Remarks on Multimodality : Grammatical Interactions in the Parallel Architecture. *Frontiers in Artificial Intelligence*, *4*, 778060. https://doi.org/10.3389/frai.2021.778060

Crawford, P. (2004). A Novel Approach : Using Graphic Novels to Attract Reluctant Readers and Promote Literacy. *Library Media Connection*, 26-28.

Eitel, A., Scheiter, K., & Schüler, A. (2013a). How inspecting a picture affects processing of text in multimedia learning. *Applied Cognitive Psychology*, *27*(4), 451-461. https://doi.org/10.1002/acp.2922

Eitel, A., Scheiter, K., Schüler, A., Nyström, M., & Holmqvist, K. (2013b). How a picture facilitates the process of learning from text : Evidence for scaffolding. *Learning and Instruction*, *28*(4), 48-63. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.05.002

Farinella, M. (2018). The potential of comics in science communication. *Journal of Science Communication*, *17*(1), 1-17. https://doi.org/10.22323/2.17010401

Foulsham, T., & Cohn, N. (2020). Zooming in on visual narrative comprehension. *Memory and Cognition*, *September*. https://doi.org/10.3758/s13421-020-01101-w

Foulsham, T., Wybrow, D., & Cohn, N. (2016). Reading Without Words : Eye Movements in the Comprehension of Comic Strips. *Applied Cognitive Psychology*, *30*(4), 566-579. https://doi.org/10.1002/acp.3229

Franken, G., Podlesek, A., & Možina, K. (2015). Eye-tracking Study of Reading Speed from LCD Displays : Influence of Type Style and Type Size. *Journal of Eye Movement Research*, *8*(1). https://doi.org/10.16910/jemr.8.1.3

Glaser, W. R. (1992). Picture Naming. *Cognition*, *42*, 61-105.

Houts, P. S., Doak, C. C., Doak, L. G., & Loscalzo, M. J. (2006). The role of pictures in improving health communication : A review of research on attention, comprehension, recall, and adherence. *Patient Education and Counseling*, *61*(2), 173-190. https://doi.org/10.1016/j.pec.2005.05.004

ICv2. (2023, octobre 16). COVID surge in comics and graphic novel sales crested in 2022. *ICv2*. https://icv2.com/articles/markets/view/55334/covid-surge-comics-graphic-novel-sales-crested-2022

Ishii, T., Igaki, T., Kurata, K., Omori, T., & Masuda, N. (2004). Eye catchers in comics : Controlling eye movements in reading pictorial and textual media. *International Journal of Psychology*, *39*(5-6, S), 103.

Jakobsen, A. L., & Jensen, K. T. H. (2008). Eye movement behaviour across four different types of reading task. *Copenhagen studies in language*, *36*, 103-124.

Jee, B. D., & Anggoro, F. K. (2012). Comic Cognition : Exploring the Potential Cognitive Impacts of Science Comics. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, *11*(2), 196-208. https://doi.org/10.1891/1945-8959.11.2.196

Johnson, C. I., & Mayer, R. E. (2012). An eye movement analysis of the spatial contiguity effect in multimedia learning. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *18*(2), 178-191. https://doi.org/10.1037/a0026923

Josephson, S. (2008). Keeping Your Readers' Eyes on the Screen : An Eye-Tracking Study Comparing Sans Serif and Serif Typefaces. *Visual Communication Quarterly*, *15*(1-2), 67-79. https://doi.org/10.1080/15551390801914595

Kassambara, A. (2023). *rstatix : Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests*. https://CRAN.R-project.org/package=rstatix

Kinzer, C. K., Turkay, S., Hoffman, D. L., Gunbas, N., Chantes, P., Chaiwinij, A., & Dvorkin, T. (2012). Examining the Effects of Text and Images on Story Comprehension : An Eye-Tracking Study of Reading in a Video Game and Comic Book. *61st Yearbook of the Literacy Research Association*, *c*, 259-275.

Kirtley, C., Murray, C., Vaughan, P. B., & Tatler, B. W. (2018). Reading words and images : Factors influencing eye movements in comic reading. In A. Dunst, J. Laubrock, & J. Wildfeuer (Éds.), *Empirical comics research* (p. 264-283). Routledge.

Kirtley, C., Murray, C., Vaughan, P. B., & Tatler, B. W. (2023). Navigating the narrative : An eye-tracking study of readers' strategies when Reading comic page layouts. *Applied Cognitive Psychology*, *37*(1), 52-70. https://doi.org/10.1002/acp.4018

Kotval, X., & Goldberg, J. (1998). Eye Movements and Interface Component Grouping : An Evaluation Method. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *42*, 486-490. https://doi.org/10.1177/154193129804200509

Krejtz, K., Duchowski, A. T., Krejtz, I., Kopacz, A., & Chrząstowski-Wachtel, P. (2016). Gaze transitions when learning with multimedia. *Journal of Eye Movement Research*, *9*(1). https://doi.org/10.16910/jemr.9.1.5

Lakens, D., & Caldwell, A. R. (2021). Simulation-Based Power Analysis for Factorial Analysis of Variance Designs. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, *4*(1), 2515245920951503. https://doi.org/10.1177/2515245920951503

Laubrock, J., Hohenstein, S., & Kümmerer, M. (2018). Attention to comics : Cognitive processing during the reading of graphic literature. In A. Dunst, J. Laubrock, & J. Wildfeuer (Éds.), *Empirical comics research* (p. 239-263). Routledge.

Levie, W. H., & Lentz, R. (1982). Effects of text illustrations : A review of research. *Education, Communication and Technology Journal*, *30*(4), 195-232. https://doi.org/10.1007/BF02765184

Lin, S. F., Lin, H. shyang, Lee, L., & Yore, L. D. (2014). Are Science Comics a Good Medium for Science Communication ? The Case for Public Learning of Nanotechnology. *International Journal of Science Education, Part B: Communication and Public Engagement*, *5*(3), 276-294. https://doi.org/10.1080/21548455.2014.941040

Lindner, M. A., Eitel, A., Strobel, B., & Köller, O. (2017). Identifying processes underlying the multimedia effect in testing : An eye-movement analysis. *Learning and Instruction*, *47*, 91-102. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.10.007

Liu, J. (2004). Effects of Comic Strips on L2 Learners' Reading Comprehension. *TESOL Quarterly*, *38*(2), 225. https://doi.org/10.2307/3588379

Loschky, L. C., Larson, A. M., Smith, T. J., & Magliano, J. P. (2020). The Scene Perception & Event Comprehension Theory (SPECT) Applied to Visual Narratives. *Topics in Cognitive Science*, *12*(1), 311-351. https://doi.org/10.1111/tops.12455

MacKinnon, D. P. (2000). Equivalence of the Mediation, Confounding and Suppression Effect. *Prevention Science*, *1*(4), 173-181. https://doi.org/10.1023/A:1026595011371

Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning*. Cambridge University Press.

McCloud, S. (1993). *Understanding Comics : The Invisible Art*. HarperCollins Publisher, Inc.

McCloud, S. (2006). *Making comics : Storytelling secrets of comics, manga and graphic novels*. Harper New York.

McVicker, C. J. (2007). Comic Strips as a Text Structure for Learning to Read. *The Reading Teacher*, *61*(1), 85-88. https://doi.org/10.1598/rt.61.1.9

Nalu, A., & Bliss, J. P. (2011). Comics as a cognitive training medium for expert decision making. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2123-2127. https://doi.org/10.1177/1071181311551443

Paivio, A. (1986). *Mental representations : A dual coding approach*. Oxford University Press ; Clarendon Press.

Potter, M. C., & Faulconer, B. A. (1975). Time to understand pictures and words. *Nature*, *253*(5491), 437-438. https://doi.org/10.1038/253437a0

R Core Team. (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Raven, J. (2003). Raven Progressive Matrices. In R. S. McCallum (Éd.), *Handbook of Nonverbal Assessment* (p. 223-237). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0153-4_11

Rayner, K. (1998). Eye Movements in Reading and Information Processing : 20 Years of Research. *Psychological Bulletin*, *124*(3), 372-422.

Rayner, K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *62*(8), 1457-1506. https://doi.org/10.1080/17470210902816461

Rayner, K., Chace, K. H., Slattery, T., & Ashby, J. (2006). Eye Movements as Reflections of Comprehension Processes in Reading. *Scientific Studies of Reading*, *10*(3), 241-255.

Rayner, K., Rotello, C. M., Stewart, A. J., Keir, J., & Duffy, S. A. (2001). Integrating text and pictorial information : Eye movements when looking at print advertisements. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *7*(3), 219-226. https://doi.org/10.1037/1076-898X.7.3.219

Rey, A. (1959). *Test de copie et de reproduction de mémoire de figures géométriques complexes*. Editions du centre de psychologie appliquée.

Saltzman, E. B. (2017). Novel to Graphic Novel. In S. Tabachnick (Éd.), *The Cambridge Companion to the Graphic Novel* (1re éd., p. 144-159). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781316258316.011

Schwarz, G. (2006). Expanding Literacies through Graphic Novels. *English Journal*, *95*(6), 58. https://doi.org/10.2307/30046629

Shaul, S., & Rom, Z. (2019). The Differences in Semantic Processing of Pictures and Words between Dyslexic and Typical-Reading University Students. *Psychology*, *10*(02), 235-255. https://doi.org/10.4236/psych.2019.102018

Short, J. C., Randolph-Seng, B., & McKenny, A. F. (2013). Graphic Presentation : An Empirical Examination of the Graphic Novel Approach to Communicate Business Concepts. *Business Communication Quarterly*, *76*(3), 273-303. https://doi.org/10.1177/1080569913482574

Sonine, A., & Chanquoy, L. (2007). Proposition de modélisation de la compréhension de textes multimédias de type « bandes dessinées » : Analyse de l'impact des composantes verbales et imagées. *Annee Psychologique*, *107*(2), 181-210. https://doi.org/10.4074/S0003503307002023

Syndicat National de l'Edition. (2022). *Les Chiffres de l'Editions 2021-2022 : Synthèse du Rapport Statistique du SNE*.

Tatalovic, M. (2009). Science comics as tools for science education and communication : A brief, exploratory study. *Journal of Science Communication*, *08*(04). https://doi.org/10.22323/2.08040202

Underwood, G., Hubbard, A., & Wilkinson, H. (1990). Eye Fixations Predict Reading Comprehension : The Relationships between Reading Skill, Reading Speed, and Visual Inspection. *Language and Speech*, *33*(1), 69-81. https://doi.org/10.1177/002383099003300105

van Dijk, T. A. van, & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. Academic press.

Vincent Gerard, A., Chaniot, C., & Lapointe, M. (2020). *Les Français et la BD* [Webinar].

von Reumont, F., & Budke, A. (2020). Strategies for Successful Learning with Geographical Comics : An Eye-Tracking Study with Young Learners. *Education Sciences*, *10*(10), 293. https://doi.org/10.3390/educsci10100293

Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L. D., François, R., Grolemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T. L., Miller, E., Bache, S. M.,

Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D. P., Spinu, V., … Yutani, H. (2019). Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, *4*(43), 1686. https://doi.org/10.21105/joss.01686

Wong, S. W. L., Miao, H., Cheng, R. W., & Yip, M. C. W. (2017). Graphic Novel Comprehension Among Learners with Differential Cognitive Styles and Reading Abilities. *Reading & Writing Quarterly*, *33*(5), 412-427. https://doi.org/10.1080/10573569.2016.1216343

Yum, Y. N., Cohn, N., & Lau, W. K. W. (2021). Effects of picture-word integration on reading visual narratives in L1 and L2. *Learning and Instruction*, *71*(August 2020), 101397. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101397

Yzerbyt, V., Muller, D., Batailler, C., & Judd, C. M. (2018). New recommendations for testing indirect effects in mediational models : The need to report and test component paths. *Journal of Personality and Social Psychology*, *115*(6), 929-943. https://doi.org/10.1037/pspa0000132

Chapitre 5 :

L'image dans la BD rend-elle la lecture plus accessible pour des étudiants dyslexiques de niveau universitaire ?

Les étudiants dyslexiques de niveau universitaire présentent des déficits persistants en décodage. Toutefois, les exigences académiques auxquelles ils doivent répondre les incitent à développer un système de compensation, principalement basé sur des traitements et des connaissances sémantiques. Des études suggèrent que les étudiants avec une dyslexie pourraient éprouver des difficultés à traiter des textes présentés avec des images (Holmqvist Olander et al., 2017; S. Kim et al., 2014), mais aucune n'étude n'a testé l'influence de la BD sur les processus de compréhension chez les adultes dyslexiques. Pourtant la BD présente des caractéristiques différentes des supports multimédias classiques, qui pourraient se révéler bénéfiques pour les lecteurs dyslexiques. Ainsi, cette étude poursuivait trois objectifs. Le premier était de déterminer si les étudiants dyslexiques bénéficiaient du format de la BD pour améliorer leur performance en compréhension par rapport à celle d'un texte classique. Le deuxième était de déterminer si les étudiants dyslexiques pouvaient s'appuyer sur le traitement de l'image de la BD pour

faciliter le traitement des mots des bulles par rapport à un texte classique. Finalement, nous cherchions à explorer comment les lecteurs dyslexiques traitaient et intégraient les composantes verbales et picturales de la BD pour former une représentation cohérente du contenu de l'histoire. Plus précisément, nous voulions comprendre comment les étudiants dyslexiques utilisaient l'image pour comprendre le contenu de la BD.

Comme pour les étudiants normolecteurs, nous n'avons pas observé de différence entre les supports BD et texte sur les scores de compréhension. Les étudiants dyslexiques étaient plus longs à explorer les histoires que les étudiants normolecteurs quel que soit le format, mais manifestaient une réduction plus importante du temps d'exploration en faveur de la BD que les étudiants normolecteurs.

Pour le traitement de la composante verbale, les étudiants dyslexiques manifestaient une réduction du temps de lecture des mots de la composante verbale dans des proportions similaires à celles des étudiants normolecteurs. Ainsi, bien qu'ils lisent moins vite que les étudiants normolecteurs, les étudiants dyslexiques seraient capables d'utiliser l'image pour accélérer leur vitesse de lecture des mots.

Enfin, nous avons montré que les étudiants dyslexiques s'appuyaient sur l'image pour comprendre le contenu de la BD. En effet, les images étaient fixées plus longtemps et plus souvent par les étudiants dyslexiques que les étudiants normolecteurs. De plus, les étudiants dyslexiques faisaient plus de saccades intégratives entre les images et les bulles correspondantes et entre les cases d'une même page. Dans l'ensemble, ces résultats montrent que la BD permettrait aux étudiants dyslexiques de s'appuyer sur l'image pour faciliter le traitement de la composante verbale du support, et pour accélérer l'élaboration de la représentation mentale du contenu de l'histoire.

Article 3 : Can pictures in comics improve reading accessibility in university students with dyslexia? An eye-tracking study

Can pictures in comics improve reading accessibility in university students with dyslexia? An eye-tracking study

Maud Rasamimanana[a], Raphaël Mizzi[a], Jean-Baptiste Melmi[b], Sophie Saffi[c], Pascale Colé[a]

[a]Aix Marseille Univ, CNRS, CRPN, InCIAM, Marseille, France
[b]Aix Marseille Univ, CNRS, CRPN, Marseille, France
[c]Aix Marseille Univ, CAER, Aix-en-Provence, France

Corresponding authors: Maud Rasamimanana (3 place Victor Hugo, 13331 Marseille cedex 3; maud.rasamimanana@univ-amu.fr) and Pascale Colé (3 place Victor Hugo, 13331 Marseille cedex 3; pascale.cole@univ-amu.fr)

Abstract

Purpose: Previous studies have mainly focused on the use of text layouts to facilitate the extraction and processing of written information in students with dyslexia. However, such adaptations may be of only limited benefit. Comics, with their pictures, might be a more effective way to facilitate word recognition and comprehension processes. This study aims to test the potential benefit of comics for reading comprehension in university students with dyslexia.

Method: 40 French-speaking university students with dyslexia and 40 skilled readers read two stories in both comic and text formats while their eye movements were recorded and then answered comprehension questions.

Results: Although there was no difference between readers with and without dyslexia on comic reading comprehension, the difference between the time needed to read the two formats was larger in participants with dyslexia than in skilled readers, suggesting that the former benefitted more from reading comics than skilled readers. Additionally, both groups of readers read words in balloons faster than words in linear text, although participants with dyslexia were still slower than skilled readers. Finally, readers with dyslexia relied more on picture processing to understand the comics' content, spending more time on pictures, revisiting previously seen pictures more often, and making more saccades between balloons and their corresponding pictures than skilled readers.

Conclusion: Picture processing may be central to comic reading comprehension and may enhance reading outcomes by facilitating the processing of both the story's content and the words in balloons, especially for students with dyslexia.

Keywords: Comics, Reading Comprehension, students with dyslexia, eye movements.

5.1. Introduction

Developmental dyslexia (hereafter, dyslexia) is a neurodevelopmental disorder characterized by deficits in word reading accuracy, as well as by poor decoding and reading fluency skills, and is frequently associated with difficulties in reading comprehension (American Psychiatric Association, 2013). Research has reported persistent reading deficits in adults with dyslexia (Hebert et al., 2018; Martin et al., 2010), highlighting the need for both effective remediation methods and reading formats that enhance reading performance by alleviating some of the impaired processes.

Previous research on reading formats has mainly focused on adaptations made to text layouts, such as widening the letter spacing (Perea et al., 2012; Zorzi et al., 2012) and shortening the lines (Schneps et al., 2013). However, such adaptations may be of only limited benefit. Comics, that is formats that contain a number of pictures in panels and words in balloons and captions, are a promising tool as they may enhance both word recognition (activation of orthographic, phonological and semantic codes of words) and comprehension processes (generation of a semantic representation of the content of the story currently being read) involved in reading comprehension (Perfetti & Adlof, 2012) compared to traditional texts. The main aim of the present study is thus to test these hypotheses in university students with dyslexia.

5.1.1. Text reading comprehension in students with dyslexia

Adults with dyslexia commonly exhibit persistent deficits in word and pseudoword reading as well as in reading speed (Cavalli et al., 2024; Moojen et al., 2020). These reading difficulties are associated with deficits in phonological awareness and phonological short-term memory (Ramus, 2003; Reis et al., 2020). Some studies have also reported a

dissociation between the low-level reading abilities (decoding and word identification) and written text comprehension abilities in adults with dyslexia, as these readers have been found to perform similarly to skilled readers in text reading comprehension in the absence of time constraints (Brèthes et al., 2022; Hebert et al., 2018; Parrila et al., 2007). Studies have shown that low-level reading skills account for only a small proportion of text reading comprehension performance in readers both with and without dyslexia (Brèthes et al., 2022), and that vocabulary, general knowledge and listening comprehension skills better explain reading comprehension (Ransby & Swanson, 2003). Interestingly, Brèthes et al., (2022) also reported that general knowledge predicted reading comprehension in adults with dyslexia better than in skilled readers. These findings suggest that some of the reading comprehension processes in adults with dyslexia may differ from those of skilled readers and that they may rely more heavily on semantic information (possibly as a compensatory mechanism) when understanding written texts.

When readers with dyslexia read comics, the pictures may allow them to activate their general knowledge faster and more easily, facilitate the identification of the written words in the balloons and help them construct the story's semantic representation. Indeed, access to semantic information is faster for pictures than for words (Bajo, 1988; Glaser, 1992; Potter & Faulconer, 1975). In addition, adults with dyslexia do not differ from typical readers in the semantic categorization of pictures, indicating that they are able to process the semantic content of pictures as efficiently as skilled readers (Shaul & Rom, 2019). Pictures can also prime word identification, with the priming effect (i.e. faster response for semantically primed words than non-primed words) being larger in children with dyslexia than in control children, suggesting that the former benefit more than typical

readers from the semantic context provided by picture processing when reading words (van der Kleij et al., 2019).

5.1.2. Do multimedia and comic formats facilitate reading comprehension in individuals with dyslexia?

Readers with dyslexia may use the context provided by pictures both to speed up word identification and to activate general knowledge needed for comprehension. However, to our knowledge, no previous study has specifically explored comic reading in individuals with dyslexia. The following section therefore reviews research on reading comprehension and learning in individuals with dyslexia that has used conventional multimedia formats, such as newspapers or school textbooks, which present a text associated with usually only one picture which is not spatially close to the semantic information it refers to.

The Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML; Mayer, 2009) provides a general framework for understanding how conventional multimedia formats and comics can enhance comprehension and learning processes. CTML posits that the cognitive system has separate pictorial and verbal coding systems (Paivio, 1986). Consequently, multimedia formats, unlike traditional text, make it possible to elaborate two mental models of the content of the support, one pictorial and one verbal, thus promoting inference-making and the active learning of the support (Mayer, 2009).

However, the impact of pictures on learning and reading outcomes in people with dyslexia is not clear, as studies have reported inconsistent evidence. For instance, Smith and colleagues (2019) reported that fifth-grade children with dyslexia benefited more than age-matched control children from the combined presentation of pictures and texts compared to that of text alone when learning the names and functions of brain structures.

In adults, Dawson and colleagues (2021) reported that readers both with and without dyslexia remembered information better when text was accompanied by a picture rather than when there was no picture. Unlike the results reported by Smith et al. (2019), the benefit of the picture was similar in the two groups. In contrast, some research has found that adults with dyslexia perform worse than skilled readers on comprehension and learning measures when reading multimedia formats. For example, in an eye movement-based study, Holmqvist Olander et al. (2017) reported that adding a picture to a text negatively affected learning outcomes in adults with dyslexia. Compared to the skilled readers, these adults spent proportionally less time on the pictures, made fewer saccades between picture and text, and took longer to fixate on the pictures for the first time. These results suggest that students with dyslexia found it difficult to integrate the pictorial and verbal components.

Interestingly, comics may differ from other types of multimedia in two key respects that could benefit readers with dyslexia. Firstly, at the level of spatial organization, comics integrate words in pictures using balloons and captions, unlike other multimedia forms, in which text and images are often separated. Yum, Cohn and Lau (2021) investigated the influence of the spatial relationship between pictures and texts on comprehension performance in L2 adult learners. They showed that integrating words into images, as in comic layouts, improved reading comprehension compared to both text alone and separate images and text. Secondly, conventional multimedia forms often use only a single picture associated with a sentence, a paragraph or a text, whereas comics use several pictures organized in a meaningful sequence on the same page (Cohn et al., 2012). This is often presented as a narrative grammar, as every picture/panel plays a role in the narrative arc, in the same way as a word plays a role in a sentence (Cohn, 2016). As such, pictures may facilitate the elaboration of a representation of the story's narrative

structure. Readers with dyslexia may therefore be able to extract the required information from this pictorial narrative structure and this may, in turn, facilitate word identification and comprehension processes.

Sonine and Chanquoy (2007) proposed a model of comic reading comprehension which suggests that semantic processing of the pictures contributes to the processing of the verbal component. In this model, the pictorial and verbal components are processed in parallel. However, as the semantic processing of pictures is faster than that of words (Potter & Faulconer, 1975), readers may build a first representation, called the basic representation, of the comic content based on the pictures. This basic representation may be used to accelerate the still ongoing lexical and semantic processing of the verbal component by mobilizing top-down processes such as facilitation and suppression mechanisms, which are then applied to concepts that may or may not be relevant for the comprehension of the content of the balloon that is currently being read. The verbal representation is then integrated into the basic representation and either reinforces or corrects it. Previous research on multimedia formats has provided evidence in support of this model. For instance, Eitel et al. (2013) showed that viewing a picture before reading a text can enhance reading speed in adult skilled readers. Similarly, in comics, reading speed in balloons is faster than in traditional texts (Rasamimanana et al., in revision). Von Reumont and Budke (2020) also found that higher levels of attention to pictures in comics were positively correlated with comprehension in teenagers, highlighting the central role pictures play in comprehension processes.

5.1.3. The present study

This study aims to examine how pictures in comics can help people with dyslexia build a semantic representation of the story's content. Students with dyslexia and skilled

readers read two stories, one in a traditional text support and one in a comic support, and then answered comprehension questions. Eye movements were recorded during reading to allow us to analyze some of the cognitive processes involved in text and comic comprehension, such as extraction and integration of the verbal and pictorial (when applicable) information (Alemdag & Cagiltay, 2018). More precisely, the first aim was to determine whether reading comics can improve the comprehension of the story's content compared to reading text in participants with and without dyslexia. Secondly, we assessed whether readers with dyslexia benefited from the pictures when processing the verbal component of the comics, as suggested by Sonine and Chanquoy's model (2007). Finally, we investigated how readers with dyslexia build pictorial and verbal representations of the story's content compared to skilled readers and how they integrate these two representations to form a coherent representation of the panel that is currently being read (word-picture integration) as well as of the story's content (inter-panel integration).

5.1.3.1. Text and comic reading comprehension

Our main hypothesis is that students with dyslexia benefit more than skilled readers from the fact that it is easier to extract information from comics for the purposes of building a semantic representation of the story's content (H1). To test this hypothesis, we analyzed comprehension scores and exploration times (time needed to explore the whole story, pictures included) as indicators of how efficiently the semantic representation of the content of the two reading formats was elaborated. Because we followed Brèthes et al. (2022) in imposing no time constraint, we expected the comprehension performance of students with dyslexia to be similar to that of skilled readers for traditional texts. Despite the inconsistent results reported for multimedia formats, we predicted that dyslexic readers would benefit from the pictures present in comics and achieve comprehension

levels similar to those of skilled readers (H1a) with this format. However, we also predicted that the difference in exploration time between comics and text would be greater in students with dyslexia than in skilled readers (H1b).

We also measured the efficiency of information extraction based on total saccadic amplitude, that is the distance covered by the eyes when reading through pages in the two formats (Kotval & Goldberg, 1998). Pictures in comics modify the spatial organization of the information compared to traditional linear text and the fact that the location of the information is clearly differentiated may facilitate information extraction. We thus expected smaller total saccadic amplitude for comics than for texts. In addition, dyslexic readers may be more sensitive to the organization of the information (Cavalli et al., 2019), thus leading to larger differences between the two formats in participants with dyslexia compared to skilled readers (H1c).

5.1.3.2. Word processing in comics' balloons and texts

According to Sonine and Chanquoy's model (2007), readers generate a basic representation of the panel content based on the pictorial component and this, in turn, accelerates the processing of the verbal component. We therefore hypothesized that word processing would be faster in comics than in texts, especially in the case of readers with dyslexia (H2). We therefore expected reading speeds (number of words read per minute) in both groups of participants to be faster in balloons in comics than in traditional text. If students with dyslexia benefit more from picture processing (van der Kleij et al., 2019), this effect should be larger in such participants than in skilled readers (H2a). Since reading speed is linked to the number and duration of fixations (Calabrèse et al., 2014), we also expected both groups of participants to fixate less often (total number of fixations divided by the number of words) and for less time (mean duration of fixations) on comics'

balloons than on traditional text, with the effect being larger in participants with dyslexia (H2b).

5.1.3.3. Processing and integrating pictures and words when reading comics

First, we sought to determine the processes involved in the elaboration of both the verbal and pictorial representations in students with and without dyslexia. These include information extraction and processing (and potentially reprocessing) of pictures and words in balloons. We hypothesized that students with dyslexia may rely more on pictures to build a semantic representation of the comic's content than skilled readers (H3). If this is correct, they should prioritize the pictorial information in order to elaborate and verify the semantic representation of the comic's content. We therefore expected it to be more likely that the first fixation of readers with dyslexia would land on the pictures than is the case with skilled readers. Additionally, typical adult readers would tend to target the pictures when returning to a previously seen panel, possibly to look for missed information (Laubrock et al., 2018). We expected this effect to be more prevalent in students with dyslexia, thus making it more likely that the first fixations of subsequent passes (when readers visit the panel for the second or more time) will fall on pictures (H3a). The same logic holds for the number of visits (number of times the gaze enters a particular area of interest, picture or balloon), with students with dyslexia visiting pictures more frequently than skilled readers (H3b). Additionally, if students with dyslexia allocate more attention to pictures in order to build a semantic representation of the comic's content, they should spend more time than skilled readers on these pictures (Dwell Time; H3c). The differences between the two groups of participants in terms of the

time spent on pictures and balloons should be reflected in the number and duration of fixations (H3d).

Secondly, integration processes refer to how readers integrate the different types of information derived from the processing of pictures and balloons into a coherent representation at both the panel and page level. We were interested in how the verbal and pictorial representations are integrated to generate the final representation of the comic's content and in whether the integration processes are similar in the two populations of participants. We hypothesized that students with dyslexia would rely more heavily on picture-text and inter-panel integration processes to build a semantic representation of the comic's content (H4). Contrary to what has been observed in non-comic multimedia formats (Holmqvist Olander et al., 2017), we expected readers with dyslexia to make more saccades between balloons and the corresponding pictures (intra-panel saccades) than skilled readers (H4a), as the verbal and pictorial information is more closely associated in these two elements. Additionally, the number of saccades between panels was used as an indicator of the elaboration of a page-level semantic representation. We therefore expected participants with dyslexia to make more saccades between panels than skilled readers (extra-panel saccades) (H4b).

5.2. Method

5.2.1. Participants

40 students with dyslexia and 40 skilled readers took part in the study, including 29 skilled readers whose results had been included as a part of the sample of a previous study (Rasamimanana et al., in revision). All were university students at Aix-Marseille University. They were all native French speakers with no history of neurological/psychiatric disorders and had normal or corrected-to-normal hearing and

vision. Students with dyslexia and skilled readers were matched on gender (17 men and 23 women in each group), chronological age ($t(77.38) = -0.32$; $p = 0.749$), educational levels ($t(73.39) = 0.22$; $p = 0.828$) and academic programs (57.5% in Human Sciences and 42.5% in Sciences and Technology in each group).

Students with dyslexia were recruited through the disability support service Aix-Marseille University. All of them had been formally diagnosed with dyslexia before entering university. They had benefited from remediation/speech therapy for an average of 5.83 years (SD = 4.19). All but two of the students with dyslexia had non-verbal intelligence within the normal range according to Raven's matrices (Raven, 2003). Their performances in the other psychometric tasks and in the main reading task were within the expected range for dyslexic students and the statistical analyses were not impacted when these two participants were removed. We therefore decided to keep them in the sample.

The dyslexic group reported a history of reading difficulties (according to the ARHQ self-report questionnaire; Lefly & Pennington, 2000). In line with what has been observed in the literature, the two groups differed significantly on decoding (measured by a 2-minute Pseudoword Reading task; Cavalli et al., 2024), word reading skills (measured by a 1-minute Word Reading task; Cavalli et al., 2024) and reading fluency skills (CTL score on the standardized French test "L'Alouette"; Cavalli et al., 2018). The dyslexic group also had impaired phonological skills as assessed with a phonemic awareness task (the phoneme deletion task; Cavalli et al., 2024) and a phonological short-term memory task (pseudoword repetition; EVALEC; Sprenger-Charolles et al., 2005). However, their performances did not differ from those of the skilled readers on oral comprehension, written comprehension, vocabulary, general knowledge or visuo-spatial tasks (Rey's complex figure test Rey, 1959). We nevertheless found a difference between dyslexic and

skilled readers on non-verbal intelligence. This difference has already been reported in a previous study (Ransby & Swanson, 2003). We also found that skilled readers marginally outperformed students with dyslexia on the Visual Language Fluency Index, which is a measure of comic reading expertise (VLFI; Cohn, 2014). All psychometric and cognitive measures are reported in Table 1.

The written consent of each participant was obtained before the experiment. The research was approved by Aix-Marseille University's Ethics Committee (no.2021-02-11-010).

Table 1.

Means and standard deviations for psychometric and cognitive measures for students with dyslexia and skilled readers.

Measures	Skilled-readers	Readers with dyslexia	*t*	*df*	*p*	*d*
		Comprehension tests				
Reading (raw score)	7.95 (3.15)	7.97 (3.25)	-0.03	77.91	.972	-0.01
Listening (raw score)	10.55 (3.12)	10.6 (3.44)	-0.07	77.27	.946	-0.02
		Phonological tests				
Phonemic awareness (score/ RT)	2.05 (0.42)	1.67 (1.15)	2.00	49.25	.051	0.45
Phonological STM (raw score)	21.55 (2.05)	18.58 (3.49)	4.65	63.02	< .001***	1.04
		Reading				
Word reading (wpm)	107.08 (21.04)	84.13 (26.11)	4.33	74.63	< .001***	0.97
Pseudoword reading (wp2m)	143.77 (31.73)	88.93 (34.38)	7.41	77.51	< .001***	1.66
Text reading (wpm)	199.18 (26.64)	149.8 (40.75)	6.41	67.18	< .001***	1.43
Fluency (CTL)	500.23 (63.79)	359.38 (105.13)	7.24	64.29	< .001***	1.62
ARHQ	0.34 (0.09)	0.6 (0.12)	-11.05	73.77	< .001***	-2.47
		Visuo-Spatial Skills				
Rey copy (raw score)	35.27 (0.96)	35.23 (1.25)	0.20	73.14	.842	0.04
Rey copy (speed in sec)	220.48 (91.58)	235.88 (82.41)	-0.79	77.15	.432	-0.18
		Cognitive measures				
Raven's SPM (raw score)	50.75 (4.98)	47.12 (7.17)	2.63	69.54	.011*	0.59

Measures	Skilled-readers	Readers with dyslexia	*t*	*df*	*p*	*d*
Vocabulary (raw score)	36.85 (4.89)	36.95 (4.62)	-0.09	77.76	.925	-0.02
General knowledge (raw score)	11.78 (3.2)	11.2 (4.26)	0.68	72.40	.497	0.15
VLFI	10.58 (4.87)	8.52 (4.78)	1.92	77.97	.059	0.43

5.2.2. Materials

As in Rasamimanana et al. (in revision), we selected the first pages of two stories, both published as novels and adapted into graphic novels: “C’est pour ça que je m’appelle Giovanni” (“That’s why I’m called Giovanni”, by Luigi Garlando and Claudio Stassi; number of words for the comic support: 348, and for the novel support: 1054) and “Le Der des Ders” (“The Last of the Lasts”, by Didier Daeninckx and Jacques Tardi; number of words for the comic support: 522, and for the novel support: 1394). The first graphic novel contained color and the second black-and-white illustrations. We ensured that the two types of formats contained similar information by listing all the items of semantic information in the novels and the manner in which they had been transposed to the comics.

Comprehension performances were assessed using two questionnaires, one for each story. These questionnaires consisted of short open questions and multiple-choice questions. Comprehension questions were either literal, in which case the information needed to correctly answer the question was explicitly given in the comics and novels, or inferential, in which case the participants had to establish connections with their general knowledge or between different pieces of the story. Cronbach’s alpha value was 0.70 across the two questionnaires taken together. The maximum total score for the first story was 19 and the second story 17.

5.2.3. Procedure

We used a repeated-measures design for the experimental task, with participants reading the comic version of one story and text version of the other. Order and format (text, comics) were counterbalanced using a Latin square design. During the task, participants were seated in a chair in front of a vertically oriented screen matched to comic layouts. Participants controlled their own reading speed using a keyboard. However, they were told that they were not allowed to return to a previous page. Questions were asked orally after each story had been read.

5.2.4. Eye movements

We recorded eye movements using an Eyelink Portable Duo (SR Research), at a sampling rate of 1000 Hz in Head Free-to-Move tracking mode. Participants were asked to avoid moving during reading, and their head movements were limited with a chin rest. A 9-point calibration and validation were repeated before reading each story until the validation error was smaller than 1° on average and 1.5° for the worst point. Drift corrections were performed between each page. The experiment was monitored with SR Research's Experiment Builder Software. Fixations and saccades were extracted using Data Viewer's (SR Research) default parser. We excluded the first fixation and saccade of each page because the drift correction target was placed in the center of the screen. For comics, we counted fixations that did not fall in a specific area of interest (picture or text) as fixations on the closest area of interest.

5.3. Results

The data was processed using the R language (R Core Team, 2022) and the Tidyverse package (Wickham et al., 2019). Statistical analyses were conducted using the rstatix package (Kassambara, 2023).

5.3.1. Text and comic reading comprehension

We conducted repeated-measures ANOVAs with comprehension score (H1a), exploration time (time needed to explore the whole story; H1b) and total saccadic amplitude (distance covered by the eyes, in degrees of visual angle; H1c) as dependent variables. Format (comic vs text) and Group (readers with dyslexia vs skilled readers) were the independent variables. When interaction effects were significant, we ran post-hoc tests with adjusted P-values using the Bonferroni multiple testing correction method.

Means and standard deviations for each dependent variable are presented in Table 2.

Table 2:

Descriptive statistics associated with different measures comparing participants with dyslexia and skilled readers on comics and texts.

Measures	Students with dyslexia		Skilled readers	
	Comics	Texts	Comics	Texts
Comprehension scores (% CR)	40.78 (15.98)	37.46 (17.48)	43.26 (18.29)	41.31 (14.47)
Exploration Time (sec)	224.8 (100.82)	509.32 (216.21)	157.03 (63.38)	343.34 (110.8)
Total saccadic amplitude (°)	1480.33 (672.25)	4624.3 (1359.16)	1249.61 (557.03)	4148.71 (1664.26)
Reading speed (wpm)	193.95 (68.69)	162.36 (49.58)	270.23 (82.94)	231.86 (61.59)
Number of fixations (per word)	1.03 (0.39)	1.41 (0.43)	0.79 (0.32)	1.04 (0.32)
Fixation duration on words (msec)	316.99 (46.41)	249.58 (35.58)	291.75 (47.77)	231.75 (30.84)

For comprehension scores, there was no main effect of Group ($F(1, 78) = 1.404$, $p = .24$), Format ($F(1, 78) = 1.045$, $p = .31$), or any interaction effect (Group x Format: $F<1$).

For exploration time, the main effect of Group was significant ($F(1, 78) = 31.545$, $p<.001$, $\eta_p^2 = 0.288$), with readers with dyslexia exploring the formats more slowly ($M = 367.06$ s, $SD = 220.43$) than skilled readers ($M = 250.18$ s, $SD = 129.74$). The main effect of Format was also significant ($F(1, 78) = 114.96$, $p<.001$, $\eta_p^2 = 0.596$), with comics being explored faster ($M = 190.91$ s, $SD = 90.36$) than traditional texts ($M = 426.33$ s, $SD = 190.03$). Finally, the interaction effect between Group and Format was significant ($F(1, 78) = 5.00$, $p = 0.028$, $\eta_p^2 = 0.06$). In students with dyslexia, comics were explored 284.55 seconds, 95% CI [207.37, 361.66] ($t(39) = 7.46$, $p<.001$) faster than texts. For skilled readers, comics were read 186.3 seconds faster than texts, 95% CI [142.30, 230.33] ($t(39) = 8.56$, $p<.001$; see Table 2), suggesting that comics have a more beneficial effect on exploration time in students with dyslexia than in skilled readers.

With regard to total saccadic amplitude, the main effect of Group was marginally significant ($F(1, 78) = 3.40$, $p = .069$, $\eta_p^2 = 0.042$), with readers with dyslexia tending to cover more distance ($M = 3052.32°$, $SD = 1907.22$) than skilled readers ($M = 2699.16°$; $SD = 1910.06$). The main effect of Format was also significant ($F(1, 78) = 298.71$, $p<.001$, $\eta_p^2 = 0.793$), with shorter total saccadic amplitude for comics ($M = 1364.97°$, $SD = 624.30$) than for texts ($M = 4386.50°$, $SD = 1528.59$). There was no significant interaction effect between Group and Format ($F<1$).

5.3.2. Word processing in comics' balloons and texts

We conducted repeated-measures ANOVAs, with reading speed (number of words read per minute; H2a), mean number of fixations by word (total number of fixations divided by the number of words; H2b) and mean fixation duration on words (H2c) as dependent

variables. The independent variables were the same as in the first question: Format and Group. Means and standard deviations for each dependent variable are presented in Table 2.

With regard to reading speed, the main effect of Group was significant ($F(1, 78) = 36.68$, $p<.001$, $\eta_p^2 = 0.320$), with skilled readers reading faster ($M = 251.05$ wpm, $SD = 75.11$) than participants with dyslexia ($M = 178.16$ wpm, $SD = 61.60$). The main effect of Format was also significant ($F(1, 78) = 15.635$, $p<.001$, $\eta_p^2 = 0.167$), with balloons in comics being read faster ($M = 232.09$ wpm, $SD = 84.84$) than traditional texts ($M = 197.11$, $SD = 65.64$). The interaction between Group and Format was not significant ($F<1$).

When the number of fixations is considered, the main effect of Group was significant ($F(1, 78) = 19.08$, $p<.001$, $\eta_p^2 = 0.197$), with more fixations by word for participants with dyslexia ($M = 1.22$, $SD = 0.45$) than skilled readers ($M = 0.91$, $SD = 0.38$). The main effect of Format was also significant ($F(1, 78) = 52.53$, $p<.001$, $\eta_p^2 = 0.402$), with less fixations by words in the comics' balloons ($M = 0.91$, $SD = 0.38$) than in traditional texts ($M = 1.22$, $SD = 0.42$). There was no significant interaction between Group and Format ($F(1, 78) = 2.31$, $p = 0.133$).

For fixation duration, the main effect of Group was significant ($F(1, 78) = 6.58$, $p = .012$, $\eta_p^2 = 0.078$), with the participants with dyslexia fixating the balloons ($M = 283.29$ msec, $SD = 53.28$) for longer than the SR ($M = 261.75$ msec, $SD = 50.08$). The main effect of Format was also significant ($F(1, 78) = 319.77$, $p<.001$, $\eta_p^2 = 0.804$), with fixations in comics' balloons being longer ($M = 304.37$ msec, $SD = 48.49$) than in traditional text ($M = 240.67$ msec, $SD = 34.28$). There was no significant interaction between the effects of Group and Format for fixation duration ($F(1, 78) = 1.08$, $p = .302$).

5.3.3. Processing and integrating pictures and words when reading comics

5.3.3.1. Processing of the verbal and pictorial components

We conducted repeated-measures ANOVAs, with the probability of a given fixation landing on pictures (H3a), the number of visits (H3b), the total dwell time (time spent on pictures and balloons; H3c), number of fixations and mean fixation duration (H3d) as the dependent variables. For all dependent variables, we used Group (DL vs SR) as a between variable. When applicable, we used the Type of Area of Interest (AoI Type: balloon vs picture), the Pass Number (first or subsequent), and the Fixation Number (first vs any) as within variables.

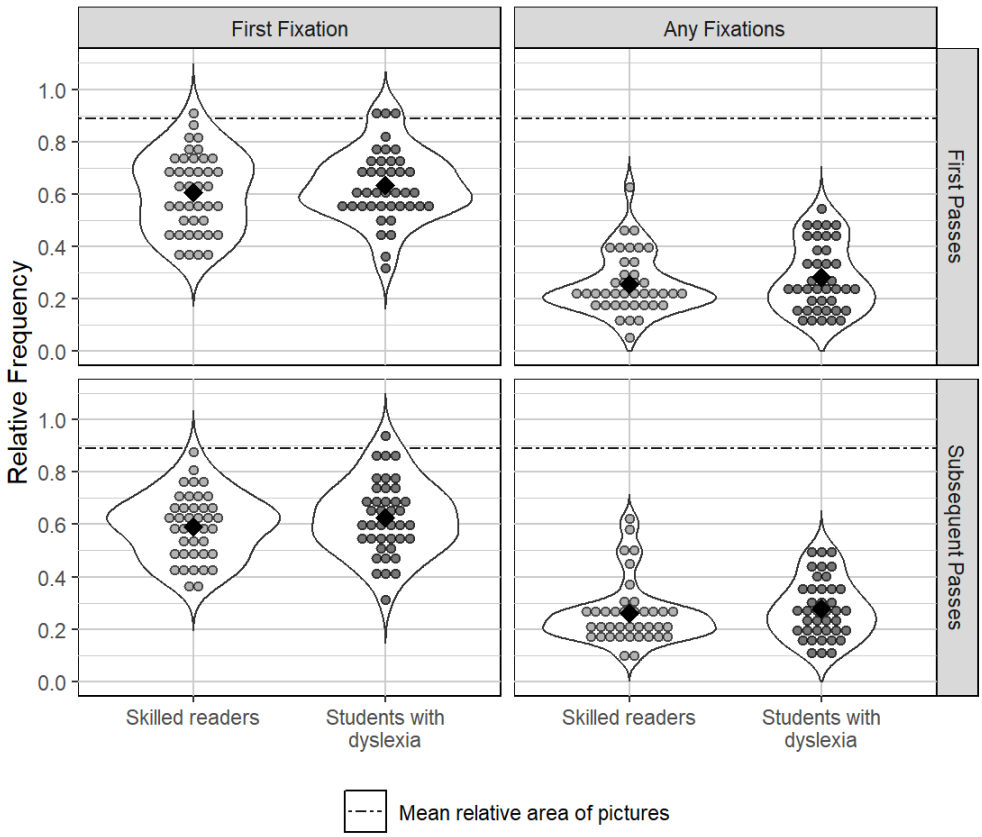
Fixation location:

Figure 1 shows the proportion of fixations falling on pictures or ballons as a function of the fixation number (first or any) and of whether the fixations occurred during the first or subsequent passes in the panel. The area of the pictures and balloons is represented with a dotted line. The main effect of Group was not significant ($F<1$). However, there was a main effect of Fixation Number (Fixation Number: $F(1, 76) = 1062.46$, $p<.001$, $\eta_p^2 = 0.933$), with first fixations falling on pictures ($M = 0.61$, $SD = 0.14$) more often than other fixations ($M = 0.27$, $SD = 0.11$). The main effect of Number of Pass was not significant ($F<1$). There was no significant interaction between the effects of Group, Fixation Number and Number of Pass (for all interactions: $F<1$).

Figure 1

Proportion of fixations falling on pictures and balloons for participants with dyslexia (dark gray) and skilled readers (light gray), first (top) and subsequent passes (bottom) and

first fixations (left) and other fixations (right). The mean proportion of panels occupied by pictures is represented with a dotted line.



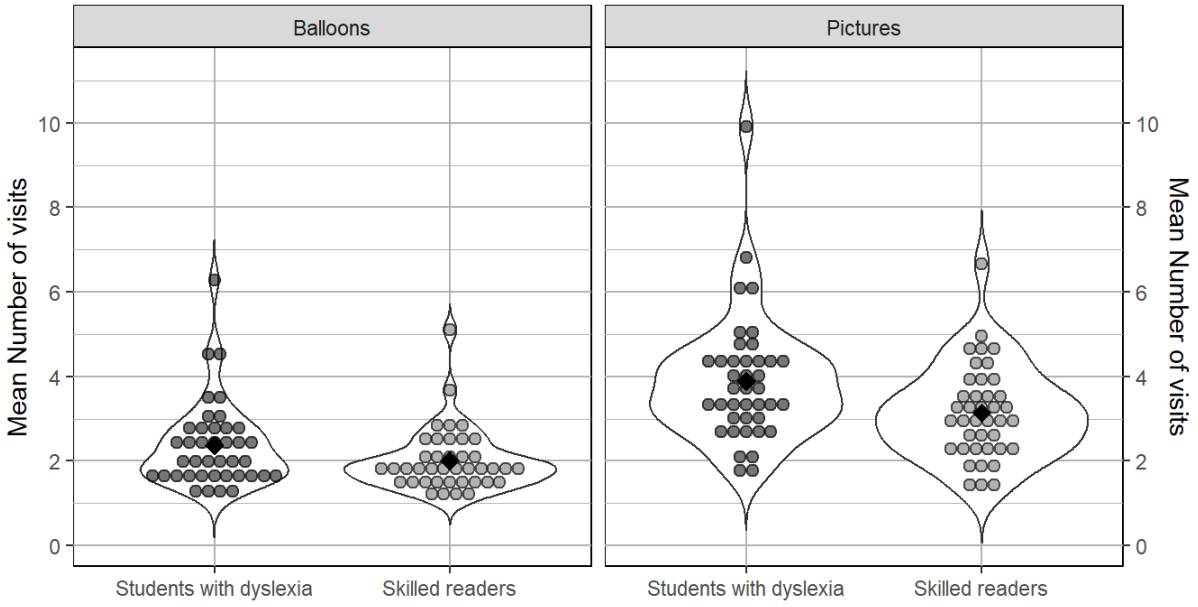
Number of visits:

For the number of visits, the main effect of Group was marginally significant ($F(1, 78) = 3.39$, $p = .069$, $\eta_p^2 = 0.042$), with readers with dyslexia tending to make a larger total number of visits ($M = 2.48$, $SD = 1.17$) than skilled readers ($M = 2.09$, $SD = 0.71$). The main effect of AoI Type was also significant ($F(1, 78) = 107.32$, $p<.001$, $\eta_p^2 = 0.579$), with more visits to pictures ($M = 2.46$, $SD = 1.04$) than to balloons ($M = 2.11$, $SD = 0.90$). The interaction effect between Group and AoI Type was also significant ($F(1, 78) = 7.73$, $p = .007$, $\eta_p^2 = 0.090$). Readers with dyslexia made 0.48 more visits to pictures, 95% CI [-0.94, -0.03], ($M = 2.70$, $SD = 1.23$) than skilled readers ($M = 2.22$, $SD = 0.74$, $t(64.27) = -2.12$, $p = .038$). For balloons, the difference between readers with dyslexia ($M = 2.26$,

SD = 1.07) and skilled readers (M = 1.97, SD = 0.67) was not significant (t(65.69) = -1.48, p = .143; see Fig. 2).

Figure 2

Mean numbers of visits to balloons and pictures made by participants with dyslexia and skilled readers. Means are represented in black.



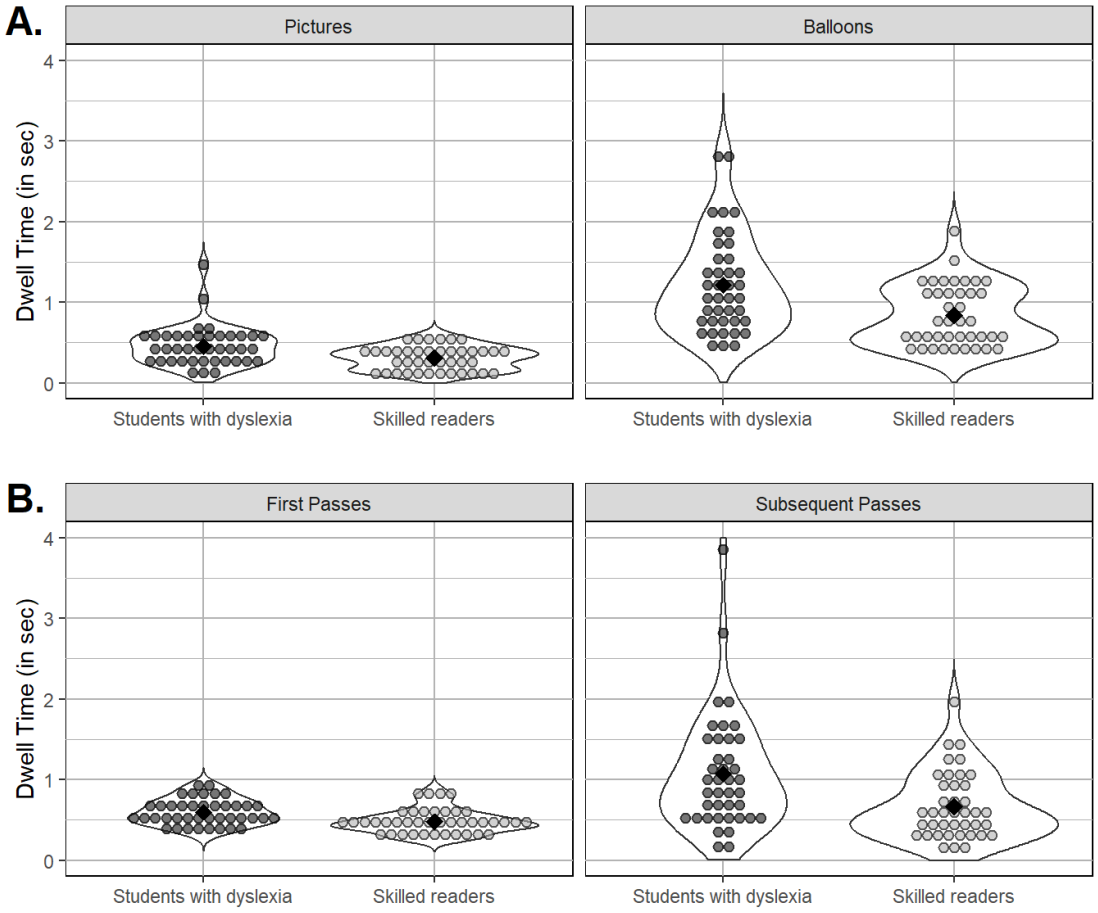
Total Dwell Time:

Concerning dwell time, the main effect of Group was significant (F(1, 78) = 13.89, p<.001, η_p^2 = 0.151), with participants with dyslexia spending more time on the comics' elements (M = 0.83 s, SD = 0.70) than skilled readers (M = 0.57 s, SD = 0.46). The main effect of AoI Type was also significant (F(1, 78) = 166.93, p<.001, η_p^2 = 0.682), with dwell times on balloons being longer (M = 1.03, SD = 0.68) than on pictures (M = 0.38 s, SD = 0.26). The main effect of Pass was significant (F(1, 78) = 24.985, p<.001, η_p^2 = 0.243), with dwell times being longer during first passes (M = 0.83 s, SD = 0.66) than subsequent passes (M = 0.58 s, SD = 0.52). The interaction between the effects of Group and AoI Type was significant (F(1, 78) = 5.33, p = .024, η_p^2 = 0.064; see Fig. 3A). The dwell times of skilled readers on balloons (M = 0.837s, sd = 0.502) were 0.37 seconds, 95% CI [-0.60, -

0.15] shorter than those of students with dyslexia (M = 1.214s, sd = 0.783; t(65.2) = -3.34, p = .001, d = -0.747). Their dwell times on pictures (M = 0.31s, sd = 0.177) were also 0.147 seconds, 95% CI [-0.24, -0.05] shorter than those of students with dyslexia (M = 0.457s, sd = 0.299; t(62.0) = -3.21, p = .002), suggesting that the difference between the two groups was larger for balloons than for pictures. The interaction between the effects of Group and Pass was also significant (F(1, 78) = 4.54, p = .036, η_p^2 = .055; see Fig. 3B). The dwell times of skilled readers on the first passes (M = 0.479s, SD = 0.372) were 0.12 seconds, 95% CI [-0.192, -0.051] shorter than those of students with dyslexia (M = 0.60s, SD = 0.451; t(77.82) = -3.42, p<.001). Their dwell times on the subsequent passes (M = 0.668s, SD = 0.541) were 0.402 seconds, 95% CI [-0.665, -0.139] shorter than those of students with dyslexia (M = 1.070s, SD = 0.921; t(62.33) = -3.06, p = .003), suggesting that the difference between the two groups was larger for subsequent passes than first passes. There were no interactions between the effects of pass and AoI Type (F<1) or Group, Pass and AoI Type (F(1, 78) = 1.22, p = .293).

Figure 3

Time spent on balloons and pictures (A) and on first and subsequent passes (B) by students with dyslexia (dark gray) and skilled readers (light gray). Means are represented in black.



Number of fixations:

The main effect of group was significant for the number of fixations ($F(1, 78) = 6.93$, $p = .01$, $\eta_p^2 = 0.082$), with participants with dyslexia making more fixations overall ($M = 169.27$, $SD = 149.85$) than skilled readers ($M = 127.36$, $SD = 112.10$). The main effect of AoI type was also significant ($F(1, 78) = 124.59$, $p<.001$, $\eta_p^2 = 0.615$), with participant making more fixations on balloons ($M = 207.34$, $SD = 153.48$) than on pictures ($M = 89.29$, $SD = 73.05$). In addition, the main effect of Pass was significant ($F(1, 78) = 28.46$, $p<.001$, $\eta_p^2 = 0.267$), with participants making more fixations during the first pass ($M = 110.52$, $SD = 76.71$) than all subsequent passes ($M = 186.11$, $SD = 164.76$). The interaction between the effects of Group and Pass was marginally significant ($F(1, 78) = 3.04$, $p = .085$, $\eta_p^2 = 0.037$). During the first passes, skilled readers ($M = 101.91$, $SD = 71.82$) made 17.21,

95% CI [-31.22, -3.21] less fixations than readers with dyslexia (M = 119.12, SD = 80.84; t(77.10) = -2.45, p = .017). In the subsequent passes, skilled readers (152.81, SD = 137.19) made 66.60, 95% CI [-125.03, -8.17] less fixations than readers with dyslexia (M = 219.41, SD = 183.21; t(71.46) = -2.27, p = .026), suggesting that the difference between the two groups is larger in the subsequent passes. There was no interaction between the effects of Group and AoI Type (F(1, 78) = 1.52, p = 0.222), or between AoI Type and Pass (F<1) or Group, AoI Type and Pass (F(1, 78) = 2.45, p = 0.122).

Fixation Duration:

The main effect of Group was significant for fixation duration (F(1, 78) = 4.97, p = .029, η_p^2 = 0.060), with participants with dyslexia making longer fixations (M = 285.94 msec, SD = 56.20) than skilled readers (M = 267.04 msec, SD = 51.65). The main effect of AoI Type was also significant (F(1, 78) = 136.01, p<.001, η_p^2 = 0.636), with participants making longer fixations on balloons (M = 303.09 msec, SD = 50.59) than on pictures (M = 249.88 msec, SD = 44.98). The main effect of Pass was marginally significant (F(1, 78) = 3.64, p = .060, η_p^2 = 0.045) with participants tending to make shorter fixations the first passes (M = 274.09, SD = 61.67 msec) than on the subsequent passes (M = 278.89 msec, SD = 46.81).The interaction between the effect of Pass and AoI Type was significant (F(1, 78) = 71.47, p<.001, η_p^2 = 0.478). First-pass fixations in balloons (M = 311.29 msec, SD = 53.26) were 16.40 msec, 95% CI [10.27, 22.52] longer than those during subsequent passes (M = 294.89 msec, SD = 46.67; t(79) = 5.32, p<.001). The opposite effect was found for pictures, with fixations during first passes (M = 236.88 msec, SD = 44.88) being 26.01 msec shorter, 95% CI [-33.88, -18.13] than during the subsequent passes (M = 262.89 msec, SD = 41.40; t(79) = -6.57, p<.001). There was no interaction between the effects of

Group and AoI Type ($F(1, 78) = 2.64$, $p = .108$), or Group and Pass ($F < 1$), or Group, AoI Type and Pass ($F<1$).

5.3.3.2. Integration of the verbal and pictorial components

We conducted repeated-measures ANOVAs with the number of saccades between pictures and their corresponding balloons (H4a) and the number of saccades between panels (H4b) as dependent variables. We used Group as a between variable. The within variables were Direction (toward picture vs toward balloons) for the first dependent variable, and Type (forward, i.e., toward next panel, vs backward, i.e., toward previous panel) for the second dependent variable. When interaction effects were significant, we ran post-hoc tests with adjusted P-values using the Bonferroni multiple testing correction method.

With regard to saccades inside panels, the main effect of Group was significant ($F(1, 78) = 11.42$, $p = .001$, $\eta_p^2 = 0.128$), with participants with dyslexia making more saccades between balloons and their corresponding pictures overall ($M = 44.55$; $SD = 14.73$) than skilled readers ($M = 34.68$, $SD = 12.53$). The main effect of Direction was also significant ($F(1, 78) = 11.740$, $p<.001$, $\eta_p^2 = 0.131$), with more saccades from pictures to balloons ($M = 38.09$, $SD = 13.38$) than from balloons to pictures ($M = 41.15$, $SD = 15.48$). The interaction between the effects of Group and Direction of saccades was marginally significant ($F(1, 78) = 3.779$, $p = .056$, $\eta_p^2 = 0.046$). Participants with dyslexia made 4.8, 95% CI [1.79, 7.81] more saccades towards picture ($M = 46.95$, $SD = 15.60$) than towards words ($M = 42.15$, $SD = 13.57$; $t(39) = 3.23$, $p = .002$), while skilled readers did not show any significant differences between the direction of saccades ($t(39) = 1.33$, $p = .190$).

For saccades between panels, the main effect of Group was marginally significant ($F(1, 78) = 3.15$, $p = .08$, $\eta_p^2 = 0.039$), with participants with dyslexia tending to make more

extra-panel saccades (M = 29.11, SD = 14.81) than skilled readers (M = 24.50, SD =10.63). The main effect of Saccade Type was significant ($F(1, 79) = 248.10$, $p < .001$, $\eta_p^2 = 0.761$), with more forward (M = 31.75, SD = 10.91) than backward saccades (M = 21.86, SD = 13.22). The interaction between the effects of Group and Saccade Type was not significant ($F(1, 79) = 2.61$, $p = .11$).

5.4. Discussion

Results show that both groups of participants benefited from the comic format for reading comprehension and word identification, as shown by the shorter exploration time of the whole story and faster reading speed of words in balloons compared to words in texts. Interestingly, the benefit of comics in terms of exploration time was greater in students with dyslexia. This may be explained by the fact that, when reading comics, these students make greater use of picture processing and integration processes than skilled readers do.

5.4.1. Text and comic reading comprehension

The results overall support our hypothesis that students with dyslexia benefit more than skilled readers from comic format to build a semantic representation of the story's content. As expected, we did not find any differences on comprehension scores between adults with dyslexia and control skilled readers (H1a). However, both groups explored comics faster than texts and the difference between comics and text was larger in students with dyslexia than in skilled readers (H1b), suggesting that students with dyslexia benefited more from the comic format. Our hypothesis concerning total saccadic amplitude was only partially confirmed (H1c): Although comics elicited shorter total saccadic amplitude, the difference between the two formats was similar in both groups of students.

Contrary to what has been reported for multimedia formats (Holmqvist Olander et al., 2017), we did not find any negative effects of the presence of pictures in comics in students with dyslexia, as they were able to extract as much information as from traditional texts but in a shorter amount of time. Even more interesting, they seemed to benefit more from comics than skilled readers, as suggested by the larger difference between comic and text exploration times in students with dyslexia compared to skilled readers. Conventional multimedia formats are considered to be highly demanding and working memory deficits have been put forward to explain why individuals with dyslexia may find it difficult to construct a coherent representation of the content of these formats and, more specifically, to integrate pictures and texts (Andresen et al., 2019; Holmqvist Olander et al., 2017). Comics may therefore not be as highly demanding as other forms of multimedia, because a part of the verbal information contained in the texts is translated into pictures in comics, leaving readers with dyslexia with more working memory available to process the words in balloons, thus facilitating comprehension processes and the elaboration of the semantic representation of the content of the story. Another complementary explanation is that in comics, the pictures and words in balloons have a different spatial relationship to that found in other types of multimedia and this may enhance the integration of pictures and words, especially in readers with dyslexia (Yum et al., 2021). Our finding of shorter saccadic amplitudes in comics compared to texts is consistent with this second explanation, as it shows that information is easier to extract from comics than from text (Kotval & Goldberg, 1998). In addition, it suggests that readers with dyslexia do not find it more difficult to extract the information in comics than skilled readers.

Thus, the spatial organization of words and images in comics seems to be particularly efficient for anchoring the elaboration of the semantic representation of the story's content in students with dyslexia. Additionally, information extraction seems to be

facilitated to similar extents in readers with and without dyslexia, although we found a larger difference in exploration time for the two formats in readers with dyslexia. This supports the idea that readers with dyslexia are more sensitive to the spatial location of the information in a narrative, with the result that they benefit more from the comic support (Cavalli et al., 2019).

5.4.2. Word processing in comics' balloons and texts

Our hypothesis concerning the facilitation of word processing in comics was partially confirmed. All participants read words in balloons faster than words in traditional texts, although students with dyslexia were still slower than skilled readers (H2a). A similar pattern of results was found for word number and duration of fixations, with participants with dyslexia making more and longer fixations than skilled readers. However, there was no interaction between Group and Formats (H2b).

It has been reported that skilled readers identify words faster in multimedia formats than in classical text formats (Eitel, Scheiter, & Schüler, 2013). These results are also consistent with a previous study in children with dyslexia, which showed that viewing a picture before reading a semantically related word induced a priming effect and consequently shortened reading times for written words (van der Kleij et al., 2019). According to Sonine and Chanquoy's model (2007), readers might be able to use the semantic information derived from the processing of the pictures to enhance the lexical and semantic processing of the verbal component of comics.

The increase in mean fixation duration in comics may be considered a surprising result. The comics in this study used handwritten fonts, which are known to reduce reading speed and increase mean fixation duration (Perea et al., 2018). Despite the higher mean fixation duration in comics' balloons, which suggests that words were more difficult to

decode in this format, we nevertheless found an increased reading speed and reduced number of fixations in both groups of participants. The number of fixations therefore seems to go a long way toward compensating for the difficulty in identifying handwritten words. Another way of interpreting the longer mean fixation duration in comics is that, because readers made fewer word-based fixations, they had to identify and process more words during each fixation (Rayner, 1998b). Word identification and integration processes may thus take longer and therefore lengthen the fixation duration.

Finally, the absence of an interaction with the effects of Group and Formats for all measures suggests that comics have a similar effect on word processing in students with and without dyslexia and that the former continue to experience word processing difficulties. Poor decoding and word identification skills are some of the irreducible symptoms of dyslexia (Lefly & Pennington, 1991). Because our population consisted of university students who had already found ways to adapt their reading deficits, they may have reached a ceiling level for word decoding and were not able to further enhance their reading speed without affecting comprehension.

5.4.3. Processing and integrating pictures and words when reading comics

Results overall confirmed the hypothesis that students with dyslexia relied more on pictures to build the semantic representation of the comics' content (H3). Although, the first fixations of both groups during the first and subsequent passes at the panel fell equally often on pictures (H3a), students with dyslexia visited pictures more often than skilled readers, with there being no difference between the two groups for balloons (H3b). Additionally, students with dyslexia allocated more attention to pictures than skilled readers, as shown by their longer dwell times on pictures (H3c). Students with dyslexia

also spent more time on subsequent visits than skilled readers, regardless of whether they viewed pictures or balloons, suggesting differences in how they re-process comic elements to elaborate a representation of the comic's content. However, contrary to our assumptions, this pattern of results was not reflected in the number and duration of fixations (H3d).

In other words, the two groups differed in their processing of the panel content. Readers with dyslexia spent more time when re-processing the balloons and pictures than skilled readers, and focused more on images and revisited them more frequently than skilled readers. One might argue that the longer viewing time and the increased number of revisits indicate difficulties in information processing for participants with dyslexia. However, this interpretation does not align with the observation that readers with dyslexia derive greater benefits from comics than skilled readers in terms of exploration time. Instead, it seems that readers with dyslexia may achieve enhanced reading comprehension through a deeper processing of pictures. Furthermore, when participants with dyslexia need to retrieve information missed during previous viewings, they rely on pictures rather than words in balloons, which may facilitate access to the panel's semantic content.

Although we did not find any significant interaction between the effects of Group and Type of Area of Interest on mean number and duration of fixations, it is interesting to note that the role of balloons and pictures may not be the same during the first and subsequent passes. Indeed, participants made longer fixations when reading words in balloons during the first pass compared to subsequent passes. The opposite pattern was observed for pictures, with shorter fixations during the first than in subsequent passes. As longer fixation are associated with processing difficulties or deeper processing (Rayner, 2009), two alternatives interpretation can be proposed. First, readers may have returned to

pictures to retrieve information to correct the semantic representation being constructed. Alternatively, readers may have sought information in pictures to confirm or enrich the developing semantic representation. Regardless of the interpretation, our results suggest that constructing the semantic representation of the panel's content primarily relies on the processing of the image.

Finally, our results support the hypothesis that readers with dyslexia exhibited eye movements patterns indicative of deeper integration processes compared to skilled readers (H4), as shown by the fact that they made more saccades between balloons and their corresponding pictures (H4a), although the difference between the two groups for saccades between panels only reach marginal significance (H4b).

Integration of pictorial and verbal information is a key process for obtaining a proper understanding of the content of the support (Jian, 2023; Mayer, 2009). According to Sonine and Chanquoy (2007), information from pictures is used to guide the processing of the verbal component, while information from previous panels helps guide the processing of the following panels. By making more saccades between the comics' elements, readers with dyslexia probably referred back more often to already processed elements in order to use the semantic information to facilitate the processing of words in balloons. Thus, better integration of the verbal and pictorial components of comics may explain why these participants benefited more from comics than skilled readers. These results stand in contrast to what has been reported for conventional multimedia formats (Holmqvist Olander et al., 2017), namely that participants with dyslexia make fewer saccades between words and pictures and perform worse than skilled readers for reading comprehension. Thus, the layouts used in comic formats, that is words in balloons embedded in larger pictures, may facilitate the processing of the information compared to conventional multimedia formats (Yum et al., 2021) and consequently allow readers with dyslexia to

better integrate not only the verbal and pictorial representation of the comics but also the different panels of the comics.

One possible limitation of this study is the lack of power, as the absence of differences between groups and reading formats and the lack of any interaction between these two variables on reading comprehension scores may have been due to the small sample size. Results of an a posteriori power analysis using the R package Superpower (Lakens & Caldwell, 2021) and based on the effect size of the reading comprehension score indicated that, in order to obtain 80% power, 227 participants would have been needed to show a significant difference between comics and texts, 300 participants to show a significant effect of group and 4395 to show a significant interaction between groups and participants. With only 80 participants were tested, we acknowledge that our study may lack statistical power and additional evidence may be needed to draw definitive conclusions regarding the questions addressed here. However, there are a number of arguments that suggest we can be more positive about the relevance of our findings. First, the results for the reading comprehension scores obtained in this study were observed in adults with dyslexia who were less familiar with reading comics than typical readers. Second and more generally, we found significant effects of group and format as well as interactions for some of the dependent variables used (exploration time), or at least significant effects of group and format (reading speed, number of fixations, fixation duration). Despite its limitations, this experiment provides new insights into how students with dyslexia may improve their reading and comprehension processes by relying on the semantic information provided by different reading formats.

Acknowledgment

The project leading to this publication has received funding from the Excellence Initiative of Aix-Marseille University - A*Midex, a French “Investissements d’Avenir programme” AMX-19-IET-005.

MR was supported by a PhD scholarship from the Institute for Creativity and Innovation of Aix-Marseille University (InCIAM).

We thank Abdessadek El Ahmadi for his precious advice concerning statistical analysis and Johanna Guinet for her help during data collection.

Disclosure of Interest

The authors report there was no competing interest to declare.

Data availability statement

The data that support the findings of this study are openly available in the OSF repository at https://osf.io/xgz6j/?view_only=c38e5516aa4f45c09bf0ddd859441bef. The materials used in this study are not publicly available due to copyright restrictions.

References

Alemdag, E., & Cagiltay, K. (2018). A systematic review of eye tracking research on multimedia learning. *Computers and Education*, *125*(June), 413-428. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.023

American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.)*. American Psychiatric Publishing. https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596.CautionaryStatement

Andresen, A., Anmarkrud, Ø., & Bråten, I. (2019). Investigating multiple source use among students with and without dyslexia. *Reading and Writing*, *32*(5), 1149-1174. https://doi.org/10.1007/s11145-018-9904-z

Bajo, M.-T. (1988). Semantic Facilitation With Pictures and Words. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *14*(4), 579-589.

Brèthes, H., Cavalli, E., Denis-Noël, A., Melmi, J., El Ahmadi, A., Bianco, M., & Colé, P. (2022). Text Reading Fluency and Text Reading Comprehension Do Not Rely on the Same Abilities in University Students With and Without Dyslexia. *Frontiers in Psychology*, *13*(May). https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.866543

Calabrèse, A., Bernard, J.-B., Faure, G., Hoffart, L., & Castet, E. (2014). Eye Movements and Reading Speed in Macular Disease : The Shrinking Perceptual Span Hypothesis Requires and Is Supported by a Mediation Analysis. *Investigative Opthalmology & Visual Science*, *55*(6), 3638. https://doi.org/10.1167/iovs.13-13408

Cavalli, E., Brèthes, H., Lefèvre, E., Ahmadi, A. E., Duncan, L. G., Bianco, M., Melmi, J.-B., Denis-Noël, A., & Colé, P. (2024). Screening for Dyslexia in University Students : A Standardized Procedure Based on Conditional Inference Trees. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *00*, 1-18. https://doi.org/10.1093/arclin/acad103

Cavalli, E., Colé, P., Brèthes, H., Lefevre, E., Lascombe, S., & Velay, J. L. (2019). E-book reading hinders aspects of long-text comprehension for adults with dyslexia. *Annals of Dyslexia*, *69*(2), 243-259. https://doi.org/10.1007/s11881-019-00182-w

Cavalli, E., Colé, P., Leloup, G., Poracchia-George, F., Sprenger-Charolles, L., & El Ahmadi, A. (2018). Screening for Dyslexia in French-Speaking University Students : An Evaluation of the Detection Accuracy of the Alouette Test. *Journal of Learning Disabilities*, *51*(3), 268-282. https://doi.org/10.1177/0022219417704637

Cohn, N. (2014). *The Visual Language Fluency Index : A measure of "comic reading expertise."* www.visuallanguagelab.com/resources.html.

Cohn, N. (2016). A multimodal parallel architecture : A cognitive framework for multimodal interactions. *Cognition*, *146*, 304-323. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2015.10.007

Cohn, N., Paczynski, M., Jackendoff, R., Holcomb, P. J., & Kuperberg, G. R. (2012). (Pea)nuts and bolts of visual narrative : Structure and meaning in sequential image comprehension. *Cognitive Psychology*, *65*(1), 1-38. https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2012.01.003

Dawson, K., Zhu, J., Ritzhaupt, A. D., Antonenko, P., Saunders, K., Wang, J., & Lombardino, L. (2021). The influence of the multimedia and modality principles on the learning outcomes, satisfaction, and mental effort of college students with and without dyslexia. *Annals of Dyslexia*, *71*(1), 188-210. https://doi.org/10.1007/s11881-021-00219-z

Eitel, A., Scheiter, K., & Schüler, A. (2013). How inspecting a picture affects processing of text in multimedia learning. *Applied Cognitive Psychology*, *27*(4), 451-461. https://doi.org/10.1002/acp.2922

Glaser, W. R. (1992). Picture Naming. *Cognition*, *42*, 61-105.

Hebert, M., Zhang, X., & Parrila, R. (2018). Examining reading comprehension text and question answering time differences in university students with and without a history of reading difficulties. *Annals of Dyslexia*, *68*(1), 15-24. https://doi.org/10.1007/s11881-017-0153-7

Holmqvist Olander, M., Wennås Brante, E., & Nyström, M. (2017). The Effect of Illustration on Improving Text Comprehension in Dyslexic Adults. *Dyslexia*, *23*(1), 42-65. https://doi.org/10.1002/dys.1545

Jian, Y.-C. (2023). Reading Behavior in Science Comics and Its Relations with Comprehension Performance and Reading Attitudes : An Eye-tracker Study. *Research in Science Education*, *53*(4), 689-706. https://doi.org/10.1007/s11165-022-10093-3

Kassambara, A. (2023). *rstatix : Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests*. https://CRAN.R-project.org/package=rstatix

Kotval, X., & Goldberg, J. (1998). Eye Movements and Interface Component Grouping : An Evaluation Method. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *42*, 486-490. https://doi.org/10.1177/154193129804200509

Lakens, D., & Caldwell, A. R. (2021). Simulation-Based Power Analysis for Factorial Analysis of Variance Designs. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, *4*(1), 2515245920951503. https://doi.org/10.1177/2515245920951503

Laubrock, J., Hohenstein, S., & Kümmerer, M. (2018). Attention to comics : Cognitive processing during the reading of graphic literature. In A. Dunst, J. Laubrock, & J. Wildfeuer (Éds.), *Empirical comics research* (p. 239-263). Routledge.

Lefly, D. L., & Pennington, B. F. (1991). Spelling errors and reading fluency in compensated adult dyslexics. *Annals of Dyslexia*, *41*(1), 141-162. https://doi.org/10.1007/BF02648083

Lefly, D. L., & Pennington, B. F. (2000). Reliability and validity of the adult reading history questionnaire. *Journal of Learning Disabilities*, *33*(3), 286-296. https://doi.org/10.1177/002221940003300306

Martin, J., Colé, P., Leuwers, C., Casalis, S., Zorman, M., & Sprenger-Charolles, L. (2010). Reading in French-speaking adults with dyslexia. *Annals of Dyslexia*, *60*(2), 238-264. https://doi.org/10.1007/s11881-010-0043-8

Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning*. Cambridge University Press.

Moojen, S. M. P., Gonçalves, H. A., Bassôa, A., Navas, A. L., De Jou, G., & Miguel, E. S. (2020). Adults with dyslexia : How can they achieve academic success despite impairments in basic reading and writing abilities? The role of text structure sensitivity as a compensatory skill. *Annals of Dyslexia*, *70*(1), 115-140. https://doi.org/10.1007/s11881-020-00195-w

Paivio, A. (1986). *Mental representations : A dual coding approach*. Oxford University Press ; Clarendon Press.

Parrila, R., Georgiou, G., & Corkett, J. (2007). University Students with a Significant History of Reading Difficulties : What Is and Is Not Compensated? *Exceptionality Education …*, *17*(2), 195-220.

Perea, M., Marcet, A., Uixera, B., & Vergara-Martínez, M. (2018). Eye movements when reading sentences with handwritten words. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *71*(1), 20-27. https://doi.org/10.1080/17470218.2016.1237531

Perea, M., Panadero, V., Moret-Tatay, C., & Gómez, P. (2012). The effects of inter-letter spacing in visual-word recognition : Evidence with young normal readers and

developmental dyslexics. *Learning and Instruction*, *22*(6), 420-430. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.04.001

Perfetti, C., & Adlof, S. M. (2012). Reading Comprehension : A Conceptual Framework from Word Meaning to Text Meaning. In J. H. Sabatini, E. R. Albro, & T. O'Reilly (Éds.), *Measuring Up : Advances in how to assess reading ability*. Rowman & Littlefied Education.

Potter, M. C., & Faulconer, B. A. (1975). Time to understand pictures and words. *Nature*, *253*(5491), 437-438. https://doi.org/10.1038/253437a0

R Core Team. (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Ramus, F. (2003). Developmental dyslexia : Specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology*, *13*(2), 212-218. https://doi.org/10.1016/S0959-4388(03)00035-7

Ransby, M. J., & Swanson, H. L. (2003). Reading Comprehension Skills of Young Adults with Childhood Diagnoses of Dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, *36*(6), 538-555. https://doi.org/10.1177/00222194030360060501

Rasamimanana, M., Raphaël Mizzi, Melmi, J. B., Saffi, S., & Colé, P. (in revision). *Is comprehension in comics more effective than in traditional texts ? An eye movement-based study*.

Raven, J. (2003). Raven Progressive Matrices. In R. S. McCallum (Éd.), *Handbook of Nonverbal Assessment* (p. 223-237). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0153-4_11

Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing : 20 years of research. *Psychological Bulletin*, *124*(3), 372-422. https://doi.org/10.1037/0033-2909.124.3.372

Rayner, K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *62*(8), 1457-1506. https://doi.org/10.1080/17470210902816461

Reis, A., Araújo, S., Morais, I. S., & Faísca, L. (2020). Reading and reading-related skills in adults with dyslexia from different orthographic systems : A review and meta-analysis. *Annals of Dyslexia*, *70*(3), 339-368. https://doi.org/10.1007/s11881-020-00205-x

Rey, A. (1959). *Test de copie et de reproduction de mémoire de figures géométriques complexes*. Editions du centre de psychologie appliquée.

Schneps, M. H., Thomson, J. M., Sonnert, G., Pomplun, M., Chen, C., & Heffner-Wong, A. (2013). Shorter Lines Facilitate Reading in Those Who Struggle. *PLoS ONE*, *8*(8), e71161. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071161

Shaul, S., & Rom, Z. (2019). The Differences in Semantic Processing of Pictures and Words between Dyslexic and Typical-Reading University Students. *Psychology*, *10*(02), 235-255. https://doi.org/10.4236/psych.2019.102018

Smith, P. L., Goodmon, L. B., Howard, J. R., Hancock, R., Hartzell, K. A., & Hilbert, S. E. (2019). Graphic novelisation effects on recognition abilities in students with dyslexia. *Journal of Graphic Novels and Comics*, *00*(00), 1-18. https://doi.org/10.1080/21504857.2019.1635175

Sonine, A., & Chanquoy, L. (2007). Proposition de modélisation de la compréhension de textes multimédias de type « bandes dessinées » : Analyse de l'impact des composantes verbales et imagées. *Annee Psychologique*, *107*(2), 181-210. https://doi.org/10.4074/S0003503307002023

Sprenger-Charolles, L., Colé, P., Béchennec, D., & Kipffer-Piquard, A. (2005). French normative data on reading and related skills from EVALEC, a new computerized

battery of tests (end Grade 1, Grade 2, Grade 3, and Grade 4). *European Review of Applied Psychology*, *55*(3), 157-186. https://doi.org/10.1016/j.erap.2004.11.002

van der Kleij, S. W., Groen, M. A., Segers, E., & Verhoeven, L. (2019). Enhanced semantic involvement during word recognition in children with dyslexia. *Journal of Experimental Child Psychology*, *178*, 15-29. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.09.006

von Reumont, F., & Budke, A. (2020). Strategies for Successful Learning with Geographical Comics : An Eye-Tracking Study with Young Learners. *Education Sciences*, *10*(10), 293. https://doi.org/10.3390/educsci10100293

Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L. D., François, R., Grolemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T. L., Miller, E., Bache, S. M., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D. P., Spinu, V., … Yutani, H. (2019). Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, *4*(43), 1686. https://doi.org/10.21105/joss.01686

Yum, Y. N., Cohn, N., & Lau, W. K. W. (2021). Effects of picture-word integration on reading visual narratives in L1 and L2. *Learning and Instruction*, *71*(August 2020), 101397. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101397

Zorzi, M., Barbiero, C., Facoetti, A., Lonciari, I., Carrozzi, M., Montico, M., Bravar, L., George, F., Pech-Georgel, C., & Ziegler, J. C. (2012). Extra-large letter spacing improves reading in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *109*(28), 11455-11459. https://doi.org/10.1073/pnas.1205566109

Discussion et Conclusions

Chapitre 6 :

Synthèse et discussion des résultats

La bande dessinée s'est imposée ces dernières années comme un support de lecture particulièrement populaire, que ce soit pour les lectures de loisirs ou pour développer des connaissances sur des sujets importants ou fascinants pour le grand public. Pourtant, peu d'études ont testé l'impact de ce format sur la compréhension de ce qui est lu, et nous n'avons que très peu de connaissances sur les processus cognitifs impliqués dans la lecture de ce type de support. Nous avons tenté dans un premier temps de déterminer si la BD pouvait faciliter la compréhension par rapport à celle d'un texte classique et si oui, pour quelle(s) population(s). Dans un deuxième temps, notre objectif était d'identifier les processus en jeu dans la compréhension de BD. Nous nous sommes intéressés à trois populations, qui diffèrent sur leur niveau de lecture : des enfants en cours d'apprentissage de la lecture, des adultes normolecteurs et des adultes étudiants dyslexiques. Sur la base des connaissances des processus impliquées dans la compréhension en lecture de textes classiques et de textes multimédias, nous avons formulé l'hypothèse que la BD ne serait pas efficace de la même manière pour faciliter la construction d'une représentation mentale du contenu d'une histoire par rapport à un texte classique dans ces trois populations. Ces différences pourraient être sous-tendues par des processus de lecture qui diffèrent en fonction du niveau de lecture et des capacités de mémoire de travail des participants. Nous nous sommes donc également demandé comment le traitement de

l'image et la disposition spatiale des éléments de la BD modifiaient les processus impliqués dans la compréhension et la lecture de BD.

6.1. Synthèse des résultats

6.1.1. Chez les enfants en cours d'apprentissage de la lecture

Notre première étude (Chapitre 3, partie 1) avait deux objectifs. Le premier était de déterminer quel impact aurait les images de la BD sur les performances de compréhension en lecture par rapport à un texte classique pour des enfants en cours d'apprentissage de la lecture. Le deuxième objectif était de déterminer comment étaient impliquées les capacités de décodage et de vocabulaire sur les performances en lecture de BD par rapport à un texte classique. Pour répondre à ces questions, nous avons demandé à des enfants scolarisés en classe de CE1 et CE2 de lire à leur rythme la version texte ou la version BD du même conte, et de répondre à des questions de compréhension. Les études de la littérature portant sur les supports multimédias chez les enfants en cours d'apprentissage de la lecture montraient que les images ralentiraient, voire perturberaient, l'identification des mots du texte (Kennedy & Cariveau, 2023; Torcasio & Sweller, 2010), ce qui pourrait avoir une influence sur la compréhension écrite. À l'inverse, d'autres études montraient que la présence d'image pourrait faciliter la génération d'inférences (Pike et al., 2010) et donc améliorer la compréhension.

Nos résultats ne permettent pas de vérifier l'une ou l'autre de ces hypothèses puisque nous n'avons pas observé de différences significatives entre les deux types de supports sur le niveau de compréhension. Ainsi, la présence des images dans la BD ne perturberait pas la compréhension chez les jeunes enfants apprentis lecteur. Toutefois, les traitements impliqués dans la compréhension en lecture de BD nécessiteraient des temps de

traitement plus longs, comme suggéré par un temps d'exploration plus important dans la BD que le texte. La présence de l'image dans la BD nécessiterait donc des traitements supplémentaires, pour accéder au sens de l'image et intégrer les informations verbales et imagées pour construire une représentation mentale de l'histoire cohérente.

Notre deuxième objectif était de déterminer comment le format BD impactait l'influence des capacités de décodage et de vocabulaire sur les performances en compréhension écrite par rapport au texte. Certains auteurs font l'hypothèse que les lecteurs avec de faibles capacités de décodage pourraient utiliser les images pour compenser leurs difficultés (Kirby et al., 2008; Themelis & Sime, 2020). Cette hypothèse n'a pas été vérifiée, puisque nous avons montré que l'implication des capacités de décodage dans les performances de compréhension en lecture de BD était plus importante que pour le texte. Il semblerait donc que pour les enfants avec de faibles capacités de décodage, la BD soit délétère pour la compréhension en lecture. Une explication pour ces résultats pourrait être que le décodage demande à ces enfants des ressources cognitives trop importantes pour pouvoir traiter simultanément les images, et intégrer l'ensemble des informations verbales et imagées dans une représentation cohérente du contenu de l'histoire. Les capacités de vocabulaire étaient impliquées de la même façon dans la compréhension des deux supports.

Pour mieux comprendre les résultats de cette étude, nous avons mené des analyses supplémentaires, portant sur les mouvements oculaires des enfants au cours de la lecture (Chapitre 3, partie 2). L'objectif principal était de déterminer comment le traitement de l'image pouvait moduler l'implication des capacités de décodage, de vocabulaire et de mémoire de travail dans la compréhension en lecture de BD. Un deuxième objectif était de déterminer si la présence d'image avait une influence sur le traitement des mots dans les bulles, par rapport à un texte classique. Nous avons montré que plus les lecteurs

passaient du temps sur l'image, meilleure était leur compréhension. Ces résultats reproduisent ceux de von Reumon et Budke chez les adolescents (2020). Le temps passé sur les images modulait également l'influence du vocabulaire sur la compréhension en lecture de BD, puisque plus les enfants passaient du temps sur les images, moins les compétences en vocabulaire influençaient la compréhension. Il semblerait donc qu'en prêtant une attention particulière au traitement des images, les capacités de compréhension orale soient moins sollicitées pour la compréhension du contenu de la BD.

Le deuxième objectif était de déterminer si le format BD avait une influence sur le traitement des mots dans les bulles, par rapport à un texte classique. Contrairement à ce qui a été montré dans la littérature, la présence d'images dans la BD ne semblait pas délétère pour le traitement des mots dans les bulles (Kennedy & Cariveau, 2023; Torcasio & Sweller, 2010), puisque ne nous n'avons pas observé de différence entre les deux formats pour la vitesse de lecture. Dans les études de la littérature, les supports de lecture utilisés correspondaient à des textes multimédias classiques. Dans notre étude, nous utilisions une BD qui présentait donc une disposition spatiale des composantes verbales et imagées particulière, grâce à l'utilisation de bulles et d'encadrés. Il semblerait donc que la proximité spatiale des éléments verbaux et picturaux permettrait un traitement et une intégration plus aisés de l'information dans la BD par rapport aux supports multimédias classiques.

6.1.2. Chez les adultes normolecteurs

Dans notre deuxième étude (Chapitre 4), nous nous sommes intéressés aux processus de compréhension de la BD chez des adultes normolecteurs. Plus précisément, nous avons formulé trois questions. Comme chez les enfants en cours d'apprentissage de la lecture, la première question était de déterminer si la BD permettait de faciliter l'élaboration de la

représentation du contenu de l'histoire. La deuxième question concernait les processus en jeu dans la lecture de BD. Nous nous sommes ainsi demandé comment la BD facilitait les processus de compréhension. Enfin, dans notre troisième question, nous nous intéressions plus particulièrement aux traitements simultanés des composantes verbales et picturales de la BD. Nous nous sommes donc demandé comment les lecteurs intégraient les éléments verbaux et picturaux de la BD. Pour répondre à ces questions, nous avons sélectionné deux histoires, publiées en format roman et adaptées en BD. Des adultes normolecteurs lisaient les deux histoires, à leur rythme, chacune dans un format différent, et répondaient à des questions de compréhension. Les mouvements oculaires étaient enregistrés au cours de la lecture.

Pour déterminer si la BD permettait de faciliter les processus de compréhension, nous nous sommes intéressées à deux aspects de la compréhension : la qualité de la représentation du contenu de l'histoire et la vitesse à laquelle cette représentation est construite. Nous nous sommes également intéressés au traitement des mots des bulles et du texte (vitesse de lecture), qui est le processus à la base de la compréhension écrite (Perfetti & Adlof, 2012). Le Modèle Cognitif de l'Apprentissage Multimédia (Mayer, 2009) fait l'hypothèse que la présence d'image encouragerait les lecteurs à créer une représentation imagée en plus de la représentation verbale. La construction de ces deux représentations encouragerait les lecteurs à faire des liens et d'inférences entre ces deux représentations lors de l'intégration de celles-ci et donc d'élaborer une représentation finale du contenu du texte lu plus. Nous n'avons pas confirmé cette hypothèse puisqu'il n'y avait pas d'amélioration des scores de compréhension dans les BD par rapport aux textes. La représentation finale du contenu des BD était toutefois élaborée beaucoup plus rapidement que celles des textes. La BD permettrait donc d'accélérer l'élaboration de la représentation de son contenu, sans avoir d'impact sur la qualité de cette représentation.

Le modèle de Sonine et Chanquoy (2007) nous permettait de faire l'hypothèse que le traitement de l'image accélérerait la lecture des mots dans les bulles par rapport aux mots dans les textes. Nos résultats ont confirmé que le traitement de la composante verbale des BD était plus rapide que le traitement des mots dans le texte. Nous avons ainsi reproduit les résultats d'Eitel et al. (2013 a) qui montraient une accélération lorsqu'une image était présentée avec le texte, comparé à la lecture du texte seul. Le traitement des images dans la BD permettrait donc de faciliter le traitement des mots dans les bulles.

Pour comprendre comment la BD facilitait les processus de compréhension et du traitement des mots dans les bulles, nous nous sommes intéressés à plusieurs aspects du traitement des composantes verbales et imagées. Dans un premier temps, nous avons montré que les images étaient traitées plus rapidement que les mots dans les bulles. En effet, le temps passé sur les images était plus court que le temps passé sur les bulles, ce qui était associé à des fixations plus courtes et moins nombreuses. Ces résultats sont congruents avec des études précédentes qui ont montré que les images sont traitées plus efficacement que les mots (Potter & Faulconer, 1975). Ces résultats supportent une des hypothèses principales de Sonine et Chanquoy (2007), qui est que le traitement des images se ferait plus rapidement que celui des mots, ce qui permettrait ensuite d'utiliser la représentation créée à partir des images pour faciliter le traitement des mots dans les bulles. Nous nous sommes ensuite intéressés aux processus d'extraction de l'information dans les BD et les textes. Nous avons montré que l'extraction des informations contenues dans les BD nécessitait moins de déplacement oculaire que dans le texte, comme suggéré par la distance parcourue totale par les yeux plus courte lors de la lecture des pages de la BD que du texte. La disposition spatiale des éléments de la BD, c'est-à-dire l'utilisation de plusieurs cases sur une même page et de bulles et d'encadré pour contenir la composante verbale, permettrait donc d'extraire les informations plus efficacement que dans le texte.

Finalement, pour le traitement de la composante imagée, nous avons montré que le traitement plus rapide des mots dans les bulles que dans les textes classiques serait permis par une extraction de l'information plus efficace dans les bulles, menant à un nombre de fixations moins élevées. Dans l'ensemble, nos résultats suggèrent que la présence des images dans les BD permettrait aux lecteurs d'extraire et de traiter les informations plus facilement que dans les textes classiques, que ce soit à partir de l'image ou des mots des bulles.

Enfin, concernant les processus d'intégration des composantes verbales et imagées, nous avons montré que le traitement des cases démarrait le plus souvent par le traitement des images puisque les premières fixations sur les cases tombent plus souvent sur les images que les fixations suivantes. Les participants avaient également tendance à revisiter plus souvent les images que les bulles. Une fois encore, ces résultats étaient cohérents avec le modèle de Sonine et Chanquoy (2007), qui fait l'hypothèse que les informations imagées seraient prises en compte de manière prioritaire pour le traitement du contenu des cases. Il semblerait également que, comme prédit par les auteurs, l'intégration des informations de la case reposerait sur l'image, puisque c'est sur celle-ci que les lecteurs reviennent le plus souvent.

6.1.3. Chez les adultes dyslexiques

Dans notre dernière étude (Chapitre 5), nous avons questionné l'impact des troubles de la lecture, et plus particulièrement des processus de compensation mis en place pour s'adapter à ces troubles, sur la compréhension en lecture de BD chez des étudiants dyslexiques de niveau universitaire. De manière générale, nous nous demandions si les adultes avec une dyslexie pouvaient s'appuyer sur l'image de la BD pour faciliter leur compréhension de l'histoire. Nous avions trois objectifs. Comme chez les enfants et les

adultes normolecteurs, le premier était de déterminer quel était l'impact de la BD sur la construction de la représentation mentale du contenu de l'histoire chez les étudiants dyslexiques. Le deuxième objectif était de comprendre comment la présence de l'image dans la BD influençait le traitement de la BD chez les étudiants dyslexiques. Le troisième objectif était de déterminer comment les deux composantes étaient traitées et intégrées par les étudiants dyslexiques. Nous avons vu que les étudiants dyslexiques mettaient en place des processus de compensation pour parvenir à obtenir des performances en compréhension en lecture similaires à celles des adultes normolecteurs. Ces processus se baseraient sur l'utilisation du contexte et des connaissances sémantiques. Nous faisions donc l'hypothèse générale que les participants dyslexiques pourraient s'appuyer sur le traitement de l'image pour construire efficacement une représentation correcte du contenu de l'histoire lue, et pour faciliter le traitement de la composante verbale de la BD.

Concernant l'élaboration de la représentation mentale du contenu de l'histoire, les participants dyslexiques traitaient le contenu du texte et de la BD aussi bien que les participants normolecteurs. Ce résultat était cohérent avec ce qui a été observé pour la lecture de textes classiques sans pression temporelle, chez les étudiants dyslexiques à l'université (Brèthes et al., 2022; Cavalli et al., 2019; Lapeyre et al., 2024). Cependant, pour les supports contenant des images, des études précédentes ont montré que les lecteurs dyslexiques comprenaient moins bien le texte avec des images que le texte sans images (Holmqvist Olander et al., 2017). Nous avons vu que la BD présentait des caractéristiques différentes des supports multimédias classiques, comme l'utilisation de bulles et d'encadrés et la juxtaposition d'images qui supportent le schéma narratif de l'histoire. Il semblerait donc que ces caractéristiques permettent aux lecteurs dyslexiques comprendre efficacement le contenu de la BD. Plus intéressant encore, les deux groupes de participants avaient un temps d'exploration réduit dans la BD, mais cette réduction

était plus importante pour les lecteurs dyslexiques que pour les lecteurs typiques. Les participants dyslexiques bénéficiaient donc plus fortement des images présentes dans la BD que les participants normolecteurs. De manière intéressante, les participants dyslexiques ne semblaient toutefois pas bénéficier plus fortement des images que les participants normolecteurs pour extraire les informations de l'histoire. La distance totale parcourue par l'œil réduisait entre les deux supports, mais dans une proportion similaire pour les deux groupes de participants. Dans l'ensemble nos résultats montrent que la BD permettrait aux participants dyslexiques de construire une représentation mentale d'aussi bonne qualité que le texte, mais beaucoup plus rapidement. La BD permettrait également de réduire les différences entre les participants dyslexiques et normolecteurs pour le temps nécessaire à comprendre le contenu d'une histoire.

S'agissant du traitement de la composante verbale, nous avons observé que les adultes dyslexiques lisaient plus lentement que les adultes normolecteurs sur les deux supports. Toutefois, nous avons également mis en évidence une accélération de la vitesse de lecture des mots dans les bulles par rapport aux textes classiques chez les adultes dyslexiques, dans des proportions similaires aux adultes normolecteurs. Sonine et Chanquoy (2007) ont proposé que cette facilitation du traitement des mots dans les bulles est possible grâce à l'activation ou l'inhibition les concepts pertinents, ou non, pour le traitement des mots dans les bulles. Il semblerait donc que les étudiants dyslexiques comme les étudiants normolecteurs pourraient s'appuyer sur le traitement de l'image pour accélérer le traitement de la composante verbale. Contrairement à ce qui était attendu, cette accélération n'était pas plus importante pour les participants dyslexiques qui s'appuieraient pourtant sur le contexte pour identifier plus facilement les mots. Ces processus de facilitation du traitement des mots dans la BD ne seraient donc pas plus efficaces chez les adultes dyslexiques.

Lors du traitement des composantes verbales et imagées de la BD, les participants dyslexiques ne montraient pas une tendance plus importante à fixer l'image que les participants normolecteurs lorsqu'ils traitaient le contenu d'une case. Ils visitaient cependant plus souvent les images que les participants normolecteurs. Les participants dyslexiques allouaient également plus d'attention au contenu des images que les participants normolecteurs. Dans l'ensemble, nos résultats montrent que les participants dyslexiques s'appuieraient sur l'image plus fortement que les participants normolecteurs pour comprendre le contenu de l'histoire. En s'appuyant ainsi sur l'image, les participants dyslexiques pourraient accélérer l'élaboration de la représentation mentale dans des proportions plus importantes que les lecteurs typiques.

Finalement, les participants dyslexiques faisaient plus de saccades intégratives entre les bulles et l'image d'une même case, avec une tendance à faire plus de saccades en direction des images, alors que les participants normolecteurs faisaient autant de saccades vers les images que vers les bulles. S'agissant des saccades entre les cases, les participants dyslexiques faisaient également plus de saccades que les participants normolecteurs. Dans l'ensemble, ces résultats suggèrent que les participants dyslexiques font plus de mouvements oculaires permettant d'intégrer les informations verbales et visuelles, et de créer une représentation mentale cohérente du contenu du texte. Lors de la lecture de supports multimédias, Holmqvist Olander et al. (2017) avait montré que l'intégration entre l'image et le texte était plus difficile pour les lecteurs dyslexiques que les lecteurs typiques. Le format de la BD pourrait alors aider les lecteurs avec des difficultés à intégrer les composantes verbales et imagées, et donc à créer une représentation mentale du contenu du texte plus efficacement.

6.2. Implications pratiques et théoriques

6.2.1. La BD : pour quelles populations ?

Le premier objectif de cette thèse était de déterminer pour quel lecteur la lecture de BD permettrait de faciliter la compréhension de ce qui est lu. Nous nous sommes intéressés à trois populations : les enfants en cours d'apprentissage de la lecture, les adultes normolecteurs et les adultes dyslexiques étudiants à l'université. En comparant la lecture de BD à la lecture de texte classique en utilisant des supports publiés et adaptés par des artistes de la BD, nous avons pu nous affranchir des biais méthodologiques observés dans de précédentes études qui comparaient des supports BD ou autres supports multimédias et des textes classiques, et de respecter les codes artistiques utilisés par les auteurs de BD pour transmettre un message.

Dans l'ensemble, nous n'avons pas montré d'impact, positif ou négatif, de la lecture de BD sur la qualité de la représentation mentale du contenu de l'histoire lue, et ce quelle que soit la population étudiée. Toutefois, nous avons observé une réduction du temps nécessaire au traitement de l'ensemble des informations contenues dans l'histoire pour les BD par rapport aux textes chez les adultes dyslexiques et normolecteurs. Chez les enfants au contraire, le temps d'exploration augmentait dans la BD par rapport au texte. Il semblerait donc qu'il existe un bénéfice à lire une BD plutôt qu'un texte pour les adultes, et plus particulièrement pour les adultes dyslexiques qui présentent une réduction plus importante du temps nécessaire pour traiter les informations de la BD que les adultes normolecteurs. La question est alors de déterminer comment les adultes, même lorsqu'ils présentent des déficits en décodage des mots écrits, bénéficient de la lecture de BD pour traiter le contenu d'une histoire, alors que les enfants semblent au contraire avoir plus de difficultés à traiter une BD qu'un texte classique ?

Pour Torcasio et Sweller (2010), la présence d'informations redondantes entre les images et le texte pourrait saturer les ressources cognitives des jeunes lecteurs, qui ne pourraient alors pas utiliser leurs ressources en mémoire de travail pour le décodage des mots puisqu'elles sont déjà allouées à l'interprétation des images. Ce phénomène est appelé l'effet de redondance, *redundancy effect*. L'automatisation des procédures de décodage avec l'apprentissage de la lecture pourrait permettre de soulager la charge cognitive lors du traitement de la BD, puisque nos résultats suggèrent que lorsque les enfants ont développé des capacités de décodage suffisantes, ils pourraient bénéficier du traitement de l'image pour mieux comprendre le contenu de la BD par rapport au texte classique. Pourtant, les adultes dyslexiques semblaient pouvoir mieux bénéficier de la lecture de BD pour comprendre efficacement le contenu d'une histoire que des adultes normolecteurs, malgré des déficits de décodage qui persistent à l'âge adulte. Les capacités de décodage ne seraient donc pas le seul facteur qui permettrait de réduire la charge cognitive liée au traitement simultané des composantes verbales et imagées de la BD.

Une plus grande capacité des systèmes de mémoire de travail pourrait également permettre aux lecteurs de mieux gérer la charge cognitive supplémentaire induite par le traitement des images dans la BD (Gyselinck et al., 2002). Comme les capacités de mémoire de travail augmentent avec l'âge (Dempster, 1981), les enfants n'auraient alors pas les ressources en mémoire de travail pour traiter et intégrer les deux composantes de la BD. Il est intéressant toutefois de noter que chez les adultes dyslexiques, certains auteurs ont mis en avant les déficits possibles en mémoire de travail pour expliquer les difficultés présentées par les lecteurs dyslexiques pour comprendre des supports multimédias (Holmqvist Olander et al., 2017; S. Kim et al., 2014). Nous n'avons pas reproduit ces résultats, ce qui suggère que l'organisation spatiale des composantes verbales et imagées jouerait un rôle particulièrement important pour des lecteurs ayant

une dyslexie, puisque l'utilisation de bulles et d'encadré pourrait leur permettre de traiter plus efficacement les deux composantes simultanément. À l'inverse, Pike et al. (2010) avait montré que des enfants de CE2 parvenaient à faire plus d'inférences lorsque l'histoire était présentée avec une image que sans image. Une différence fondamentale entre la BD et le matériel utilisé dans cette étude est que la BD propose une séquence d'images, qui demandent un traitement supplémentaire, peut-être suffisant pour saturer les capacités en mémoire de travail des jeunes enfants. Ainsi, de futures études pourraient tester comment l'organisation des composantes verbales et imagées et la séquentialité des images influencent le rôle de la mémoire de travail dans la compréhension de supports multimédias, particulièrement dans des populations présentant des déficits attentionnels qui pourraient présenter des difficultés marquées pour la compréhension des supports multimédias (Baadte et al., 2015).

Le développement des capacités de mémoire de travail, de vocabulaire, de grammaire et d'inférence permet une augmentation des capacités de compréhension orale (Lervåg et al., 2018). Ces capacités pourraient également être impliquées dans la compréhension de séquences d'images (Gernsbacher et al., 1990; Kendeou et al., 2020; Magliano et al., 2013). Ainsi, avec le développement des capacités nécessaires à la compréhension des séquences visuelles, le traitement de la BD demanderait moins de ressources cognitives pour les lecteurs, ce qui leur permettrait de bénéficier des images pour créer plus efficacement une représentation du contenu de l'histoire. Nous avons également vu que les adultes dyslexiques étudiant à l'université mettaient en place des processus de compensation qui reposent sur leurs capacités de compréhension orale et sur leurs connaissances sémantiques, ce qui leur permet de comprendre des textes écrits aussi bien que des adultes normolecteurs, malgré des déficits de décodage persistants à l'âge adulte (voir partie 1.3). Ainsi, le système de compensation des adultes étudiants dyslexiques pourrait

leur permettre de tirer un plus grand bénéfice des images contenues dans les BD que les adultes normolecteurs. Nos résultats suggèrent en effet, comparé aux adultes normolecteurs, les étudiants dyslexiques passent plus de temps sur les images, y reviennent plus souvent, et font plus de saccades intégratives, que ce soit entre les images et les bulles correspondantes, ou entre les cases.

Un autre aspect important à considérer pour déterminer les causes de l'impact différencié de la BD sur la compréhension chez les enfants et les adultes est la fonction donnée aux images dans la narration en fonction du texte visée. En effet, nous avons déjà considéré l'hypothèse que certains auteurs envisagent que c'est la redondance des images avec le texte qui pourrait causer une saturation de la mémoire de travail chez les enfants lors de la lecture de BD (Torcasio & Sweller, 2010). Or, si on compare les procédés d'adaptation des textes utilisés comme matériel dans ce travail de thèse, on constate que les auteurs confèrent aux images des rôles différents en fonction du public visé. Ainsi, pour les histoires destinées aux adultes les images semblent remplacer, traduire, une partie du texte original, alors que pour l'histoire destinée aux enfants, l'image semble compléter ou répéter le texte original. Cette différence dans le rôle joué par l'image transparait dans la différence sur le nombre de mots entre les deux supports, puisque pour les enfants, la BD et le texte comportent un nombre de mots très similaires, alors que pour les adultes le nombre de mots réduit fortement dans la BD par rapport au texte. Bien que de futures études pourraient permettre de déterminer plus précisément comment le rôle de l'image impacte la compréhension de l'histoire lue, nos résultats ouvrent une discussion sur les pratiques d'adaptation de la littérature classique vers la BD, notamment pour un jeune public. Pour faire suite à ces travaux, les prochaines études devront tenter d'opérationnaliser la redondance de l'information entre le texte et l'image, qui en fonction de la population pourrait faciliter ou pénaliser la compréhension en lecture.

6.2.2. Les processus impliqués dans la lecture de BD

Les processus impliqués dans la lecture de BD ont été très peu étudiés. Pourtant l'étude de ces processus permet d'interroger indirectement des questions fondamentales sur la nature des représentations mentales et de leur traitement au cours de la lecture. Le deuxième objectif de ce travail de thèse était donc d'explorer les traitements en jeu dans la lecture et la compréhension de BD. Plus précisément, nous nous sommes demandé comment les lecteurs traitent et intègrent les composantes verbales et imagées de la BD pour élaborer une représentation mentale cohérente du contenu de l'histoire lue. Nous nous sommes également demandé comment le traitement des images influence le traitement des mots dans les bulles.

Pour expliquer les mécanismes qui permettent l'accélération du traitement du texte lorsqu'une image y est associée, Eitel et al. (2013 a; 2013 b) ont proposé la théorie de l'échafaudage ou *Scaffolding View*, basée sur la Théorie Cognitive de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2009). Selon ce modèle, présenter une image avant le texte permettrait de créer une représentation visuelle du mécanisme décrit dans le texte plus facilement qu'à partir du texte. Cette représentation visuelle permettrait de réduire le temps passé sur la partie du texte décrivant le système. Toutefois, cette théorie postule l'existence de deux systèmes de traitement et de représentation de l'information différents. Cette conception du fonctionnement cognitif humain ne fait toutefois pas consensus, puisqu'il est difficile d'expliquer quels mécanismes permettraient aux deux types de représentations d'interagir, et donc au traitement de l'image d'avoir une influence sur le traitement de la composante verbale (Sonine & Chanquoy, 2007).

Face à cette limite, Sonine et Chanquoy (2007) ont proposé un modèle basé sur l'approche des réseaux associatifs distribués, selon laquelle les représentations mentales sont sous-tendues par des réseaux neuronaux qui peuvent être activés indépendamment

de la modalité de présentation de l'information. Cette approche présente l'avantage d'être compatible avec la théorie de Construction-Intégration (Kintsch, 1988) ou le *Structure Building Framework* (Gernsbacher et al., 1990), qui propose que les mécanismes de compréhension reposent sur la base de la construction d'une première représentation, qui est ensuite, corrigée ou enrichie pour aboutir à une représentation mentale cohérente du texte lu.

Nous avons testé plusieurs hypothèses théoriques issues du modèle de Sonine et Chanquoy (2007). Premièrement, les auteurs considèrent que l'accès au sens des images serait plus rapide que l'accès au sens des mots dans les bulles. Nous avons en effet constaté des temps de traitement plus importants, et des fixations plus longues et plus nombreuses dans les bulles de la BD que dans les images, pour les participants dyslexiques et normolecteurs. Les traitements cognitifs seraient donc plus longs et plus difficiles pour l'accès au sens des mots dans les bulles que pour les images. Deuxièmement, les auteurs suggèrent que les informations imagées étant plus faciles à traiter, elles seraient prises en compte de manière prioritaire pour créer une première représentation de base du contenu du texte. Nos résultats montrent effectivement que par rapport aux bulles, les images seraient préférées pour démarrer l'exploration des cases, puisque les premières fixations y étaient plus souvent dirigées. Troisièmement, l'information verbale serait ensuite intégrée à la représentation de base construite à partir de l'image. Nous avons en effet observé que les lecteurs revenaient plus souvent sur les images que sur les bulles. Ces résultats montrent que les processus d'intégration se feraient principalement à partir de l'information imagée. Finalement, les auteurs supposent que la représentation de base construite à partir de l'image pourrait être utilisée pour faciliter le traitement de la composante verbale. En accord avec cette hypothèse, et similairement aux résultats d'Eitel et al., (2013 a) sur un texte multimédia

classique, nous avons observé une augmentation de la vitesse de lecture des mots dans les bulles par rapport au texte classique chez les adultes normolecteurs et dyslexiques par rapport au texte sans image. Ces résultats confirment que la présence d'images, en permettant la création d'une première représentation mentale réalisée à partir de son contenu, jouerait un rôle facilitateur dans le traitement du contenu verbal.

Dans l'ensemble, nous avons montré que les processus de compréhension en lecture de BD chez les adultes normolecteurs et dyslexiques dépendraient majoritairement du traitement de l'image. Ce rôle central de l'image serait encore plus marqué chez les adultes dyslexiques, qui allouaient plus d'attention, visitaient plus souvent et réalisaient plus de mouvements intégratifs que les adultes normolecteurs. Chez les enfants, le traitement de l'image jouait également un rôle dans les processus de compréhension, puisque le temps passé à traiter l'image augmentait avec le niveau de compréhension du support BD, et permettait de réduire l'implication du vocabulaire dans les scores de compréhension.

Alors, si les représentations issues du traitement des composantes verbales et imagées sont de même nature, comment expliquer que la BD n'a pas le même impact sur les traitements du contenu de l'histoire chez les enfants, les adultes normolecteurs et les adultes dyslexiques ? Magliano et al. (2013) suggèrent que ce n'est pas la nature des représentations qui diffèrent entre la BD et le texte, mais les processus qui sous-tendent leur traitement. Ainsi, dans leur modèle SPECT (Scene Perception & Event Comprehension Theory ; Loschky et al., 2020 ; voir Figure 6.1), distingue deux types de processus : les processus *Front-End* ou processus initiaux, impliqués dans le traitement immédiat, *moment-to-moment*, de l'information, qui comprendraient les processus de sélection attentionnelle et d'extraction de l'information. Les caractéristiques du stimulus, comme la saillance visuelle, ou la disposition des cases et des bulles, guideraient en grande partie la sélection attentionnelle. Les processus *Back-End*, ou processus d'arrière-plan,

seraient impliqués dans la construction d'un modèle mental de l'histoire lue en mémoire de travail, via les processus d'inférences et de construction d'une structure. Les informations extraites au cours des processus Front-End alimenteraient les processus Back-End.

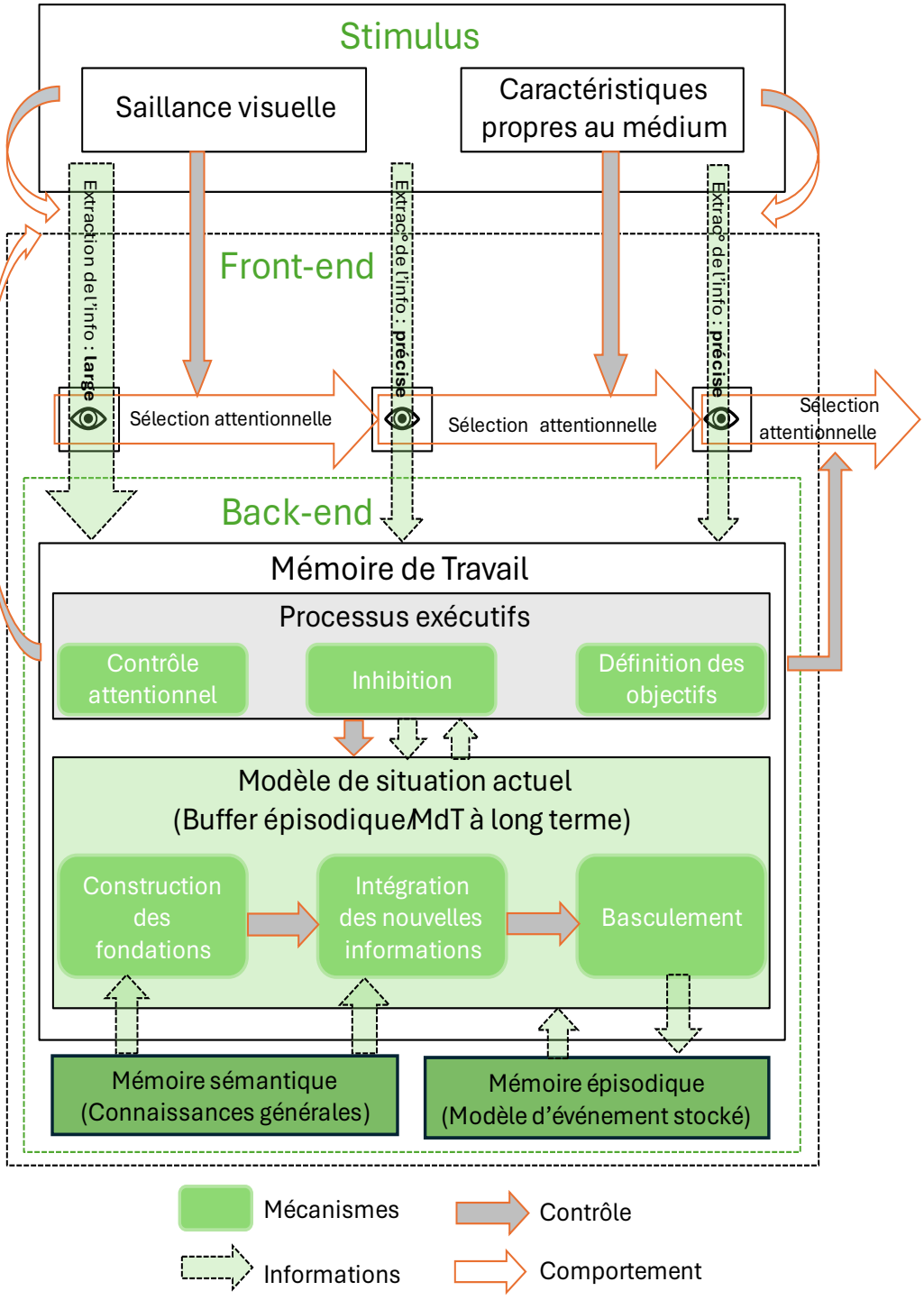


Figure 6.1. Modèle SPECT (Scene Perception & Event Comprehension Theory) issu de Loschy et al. (2020).

Selon les auteurs, les traitements Front-End diffèreraient entre les différents médias, et notamment entre le texte et la BD. Dans la BD, les informations importantes pourraient être mises en avant via les images et la disposition des éléments sur la page, ce qui permettrait de rendre l'extraction de l'information plus efficace, comme le suggère la distance parcourue par l'œil plus courte sur les pages de BD que sur les pages de textes (voir Chapitre 4 et 5). Le traitement des images se faisant plus facilement que le traitement des mots dans les bulles, l'image serait plus pertinente pour le traitement du contenu de la BD. Les stratégies d'exploration se baseraient donc préférentiellement sur les informations imagées. Les auteurs prévoient également que les informations issues du modèle en cours de construction seraient utilisées pour contrôler l'extraction et de l'information et la sélection attentionnelle. Nous avons montré que l'accélération de la vitesse de lecture serait liée à une extraction de l'information plus efficace, reflétée par une baisse du nombre de fixations lors du traitement des mots dans les bulles par rapport au texte classique. La représentation créée à partir de l'image permettrait donc de diriger le focus attentionnel afin de rendre plus efficace le traitement des mots dans les bulles.

Les processus Back-End seraient quant à eux similaires entre les deux types de supports. Chez des enfants entre 9 et 13 ans, Lindfords et al. (2024) ont montré, grâce à l'étude des potentiels évoqués, que les effets de prédictions sémantiques étaient similaires lors de la lecture ou du visionnage de narrations verbales et visuelles, avec un effet N400 présentant une amplitude similaire entre les deux conditions. Cet effet présentait une distribution sur le scalp postérieure en condition visuelle, et frontale en condition visuelle. Les auteurs supposent que cette distribution des effets reflèterait un effet d'imaginabilité. Les images étant plus concrètes que les mots, il serait plus facile de créer une image mentale à partir des images que des mots. Toutefois, les processus Back-

End se nourriraient des informations extraites à partir des processus Front-end. La qualité de la représentation finale pourrait donc fortement dépendre de ces derniers. Cela pourrait être particulièrement vrai dans le cas où un contenu sémantique serait beaucoup plus difficile à extraire d'un texte que d'une image. Par exemple, dans les études d'Eitel et al. (2013 a; 2013 b), la description de la structure d'un système de poulie pourrait être beaucoup plus facile à traiter via une image que via un texte, ce qui pourrait permettre de fournir aux processus Back-End des informations plus précises, amenant donc à une meilleure compréhension. Dans nos études, les textes lus étaient des histoires. Les informations contenues dans les images ne présentaient pas le même niveau de difficulté que pour un texte explicatif, comme dans les études d'Eitel et al. (2013 a; 2013 b). L'extraction des informations contenues dans les images serait donc tout aussi précise pour le texte classique, bien qu'elle était plus rapide. Les informations extraites des images par les processus Back-End seraient donc similaires aux informations extraites du texte classique. Comme ces informations nourriraient ensuite les processus Back-End, l'impact de la BD sur la qualité de la représentation mentale du contenu de l'histoire serait limité.

Ce modèle est intéressant pour comprendre les différences observées dans nos différentes populations. Les participants dyslexiques par exemple rencontreraient des difficultés dans l'extraction et le traitement des informations orthographiques, phonologiques et probablement syntaxiques, considérées comme des processus Front-End lors du traitement de la composante verbale (Magliano et al., 2013). Ils peuvent toutefois s'appuyer sur des traitements du sens de l'image préservés, pour nourrir les processus Back-End. Par ailleurs, on remarque que les traitements Back-End, et plus précisément l'intégration des informations, semblent jouer un rôle particulièrement important chez ces lecteurs, puisqu'ils font plus de saccades intégratives entre les images

et les bulles et entre les cases (voir Chapitre 5). Chez les enfants apprentis lecteurs, nous avons montré que le traitement de l'image réduisait l'importance des connaissances sémantiques pour la compréhension. Ainsi, il semblerait qu'en donnant une importance plus grande aux informations imagées, les enfants réussiraient à extraire suffisamment d'information pour construire une représentation mentale cohérente du contenu du texte, ce qui leur permettrait de réduire le rôle des connaissances sémantiques pour la compréhension en lecture de BD. Les différences entre les populations pourraient donc être causées par des différences dans les traitements Front-End et Back-End.

Conclusions

La BD est un support multimédia qui comprend à la fois une composante verbale et une composante imagée. L'organisation spatiale de ces composantes sur la page, avec l'utilisation des bulles et des encadrés et la juxtaposition des images, en fait un support de lecture particulièrement intéressant, à la fois sur le plan pratique et sur le plan théorique. Sur le plan pratique, nous avons montré que les adultes lecteurs typiques et dyslexiques bénéficiaient du support BD pour comprendre plus rapidement le contenu d'une histoire. La BD paraît donc être un format adapté à la transmission d'informations dans un contexte où le temps est limité, comme cela peut être le cas dans un contexte pédagogique. La BD semble également adaptée pour réduire les différences de temps de lecture entre les étudiants dyslexiques et normolecteurs. Dans un contexte d'apprentissage, cette caractéristique de la BD serait particulièrement intéressante, puisque la fluence en lecture est une des difficultés persistantes chez les adultes dyslexiques. La BD ne semble toutefois pas adaptée aux apprentis lecteurs pour faciliter la compréhension en lecture. La BD est un support complexe, qui demande le traitement simultané et l'intégration des images et des mots dans les bulles. Ces traitements complexes nécessiteraient donc des ressources en mémoire de travail importantes pour pouvoir mettre en place des processus facilitant le traitement des mots dans les bulles ou l'élaboration d'une représentation mentale cohérente du contenu de l'histoire.

Cependant, la BD pourrait avoir d'autres intérêts pour les jeunes lecteurs que l'amélioration des processus de compréhension. L'aspect ludique et appétent fait de la BD un outil intéressant pour attirer les lecteurs réticents vers la littérature (Crawford, 2004). Les images de la BD pourraient également permettre d'entraîner certaines capacités cognitives nécessaires à la compréhension de textes, comme les capacités de séquençage (Zampini et al., 2013). Malgré l'absence de bénéfice immédiat pour les enfants en cours d'apprentissage de la lecture, il pourrait donc être important que les enfants soient en contact avec ce type de support. Dans leur ensemble, ces résultats sont importants pour les pratiques pédagogiques, car ils soulignent l'importance d'adapter les supports aux publics et objectifs visés. Il est donc essentiel de former des professeurs à l'utilisation de la BD dans un contexte pédagogique.

Néanmoins, certaines questions restent à définir avant de pouvoir utiliser la BD comme support pédagogique de manière efficace. Par exemple, il nous semblerait pertinent de mieux déterminer les populations pour lesquels la BD pourrait faciliter la compréhension. Plus précisément, nous avons mis en évidence que les capacités de décodage et de mémoire de travail joueraient un rôle déterminant dans la capacité des lecteurs à utiliser les informations imagées pour faciliter les processus de compréhension. Une étude longitudinale pourrait permettre de déterminer à partir de quel âge, ou de quel niveau de développement des capacités de décodage et de mémoire de travail, la BD permettrait de faciliter la compréhension. Ce type d'étude pourrait avoir un impact immédiat sur les pratiques pédagogiques et permettrait de mieux comprendre l'implication de ces capacités dans la compréhension de supports multimédias.

Les capacités d'imagerie mentale seraient également impliquées dans la compréhension en lecture de textes avec des images (Boerma et al., 2016). L'imagerie mentale est la capacité à générer des images mentales de scènes visuelles ou d'objets. Les

capacités d'imagerie mentale diffèrent entre les individus (Galton, 1880). Récemment, le concept d'aphantasie a émergé pour décrire les personnes n'ayant pas ou très peu de capacités d'imagerie mentale (Zeman et al., 2015), et les personnes aphantasiques auraient des difficultés de compréhension écrite (Dupont et al., 2023). Deux hypothèses alternatives peuvent être formulées concernant l'apport de la BD pour la compréhension des personnes aphantasiques. Les images pourraient permettre aux personnes ayant de faibles capacités d'imagerie de comprendre plus facilement les informations sur la disposition spatiale d'une scène par exemple. A l'inverse, la BD pourrait n'aider que les personnes avec de bonnes capacités d'imagerie mentale. En effet, les personnes aphantasiques pourraient avoir mis en place des processus de compréhension différents des personnes avec de meilleures capacités d'imagerie mentale, en ne se basant pas sur les images pour élaborer une représentation du contenu des textes. Des études futures devraient prendre en compte les capacités d'imageries mentales afin d'améliorer nos connaissances sur l'apport de la BD pour les processus de compréhension. Sur le plan théorique, l'étude de la BD nous a permis de questionner les modèles classiquement utilisés pour l'étude des supports multimédias, à savoir le modèle Cognitif de l'Apprentissage Multimédia (Mayer, 2009) et la théorie de l'échafaudage (Eitel, Scheiter, Schüler, et al., 2013 a). Nous avons montré que ces modèles ne permettaient pas d'expliquer les résultats observés dans nos différentes populations. Il nous semble donc important d'utiliser des référents théoriques qui offrent une perspective fonctionnelle afin d'améliorer notre compréhension de la lecture des supports multimédias, et plus particulièrement de l'impact que ceux-ci ont sur différentes populations. En ce sens, nous avons utilisé deux modèles complémentaires. Le modèle de Sonine et Chanquoy (2007) nous permet de mieux comprendre comment le texte et l'image interagissent lors de la lecture de BD. Le modèle SPECT (L. C. Loschky et al., 2020) nous permet d'envisager deux

types de traitement lors de la lecture de BD, dont le rôle serait différent en fonction des populations visées.

Bibliographie

Aleixo, P. A., & Sumner, K. (2017). Memory for biopsychology material presented in comic book format. *Journal of Graphic Novels and Comics*, *8*(1), 79-88. https://doi.org/10.1080/21504857.2016.1219957

Alemdag, E., & Cagiltay, K. (2018). A systematic review of eye tracking research on multimedia learning. *Computers and Education*, *125*, 413-428. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.023

American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.)*. American Psychiatric Publishing. https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596.CautionaryStatement

Andresen, A., Anmarkrud, Ø., & Bråten, I. (2019). Investigating multiple source use among students with and without dyslexia. *Reading and Writing*, *32*(5), 1149-1174. https://doi.org/10.1007/s11145-018-9904-z

Anglin, G. J., Vaez, H., & Cunningham, K. L. (2013). Visual representations and learning : The role of static and animated graphics. In D. Jonassen & M. Driscoll (Éds.), *Handbook of research on educational communications and technology* (p. 854-905). Routledge.

Arrington, C. N., Kulesz, P. A., Francis, D. J., Fletcher, J. M., & Barnes, M. A. (2014). The Contribution of Attentional Control and Working Memory to Reading Comprehension and Decoding. *Scientific Studies of Reading*, *18*(5), 325-346. https://doi.org/10.1080/10888438.2014.902461

Baadte, C., Rasch, T., & Honstein, H. (2015). Attention Switching and Multimedia Learning : The Impact of Executive Resources on the Integrative Comprehension of Texts and Pictures. *Scandinavian Journal of Educational Research*, *59*(4), 478-498. https://doi.org/10.1080/00313831.2014.965785

Baddeley, A. (1992). Working Memory. *Science*, *255*(5044), 556-559. https://doi.org/10.1126/science.1736359

Bajo, M.-T. (1988). Semantic Facilitation With Pictures and Words. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *14*(4), 579-589.

Barr, D. J. (2013). Random effects structure for testing interactions in linear mixed-effects models. *Frontiers in Psychology*, *4*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00328

Batailler, C., Muller, D., Yzerbyt, V., & Judd, C. (2023). *JSmediation : Mediation Analysis Using Joint Significance*.

Beveridge, M., & Griffiths, V. (1987). The effect of pictures on the reading processes of less able readers : A miscue analysis approach. *Journal of Research in Reading*, *10*(1), 29-42. https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.1987.tb00280.x

Boerma, I. E., Mol, S. E., & Jolles, J. (2016). Reading pictures for story comprehension requires mental imagery skills. *Frontiers in Psychology*, *7*(OCT), 1-10. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01630

Brenna, B. (2013). How graphic novels support reading comprehension strategy development in children. *Literacy*, *47*(2), 88-94. https://doi.org/10.1111/j.1741-4369.2011.00655.x

Brèthes, H., Cavalli, E., Denis-Noël, A., Melmi, J., El Ahmadi, A., Bianco, M., & Colé, P. (2022). Text Reading Fluency and Text Reading Comprehension Do Not Rely on the Same Abilities in University Students With and Without Dyslexia. *Frontiers in Psychology*, *13*(May). https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.866543

Cain, K., & Oakhill, J. (2014). Reading comprehension and vocabulary : Is vocabulary more important for some aspects of comprehension?: *L'Année Psychologique*, *Vol. 114*(4), 647-662. https://doi.org/10.3917/anpsy.144.0647

Calabrèse, A., Bernard, J.-B., Faure, G., Hoffart, L., & Castet, E. (2014). Eye Movements and Reading Speed in Macular Disease : The Shrinking Perceptual Span Hypothesis Requires and Is Supported by a Mediation Analysis. *Investigative Opthalmology & Visual Science*, *55*(6), 3638. https://doi.org/10.1167/iovs.13-13408

Carney, R. N., & Levin, J. R. (2002). Pictorial Illustrations Still Improve Students' Learning from Text. *Educational Psychology Review*, *14*(1), 5-26. https://doi.org/10.1023/A:1013176309260

Carroll, P. J., Young, J. R., & Guertin, M. S. (1992). Visual Analysis of Cartoons : A View from the Far Side. In K. Rayner (Éd.), *Eye Movements and Visual Cognition* (p. 444-461). https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2852-3_27

Cavalli, E., Brèthes, H., Lefèvre, E., Ahmadi, A. E., Duncan, L. G., Bianco, M., Melmi, J.-B., Denis-Noël, A., & Colé, P. (2024). Screening for Dyslexia in University Students : A Standardized Procedure Based on Conditional Inference Trees. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *00*, 1-18. https://doi.org/10.1093/arclin/acad103

Cavalli, E., Casalis, S., Ahmadi, A. E., Zira, M., Poracchia-George, F., & Colé, P. (2016). Vocabulary skills are well developed in university students with dyslexia : Evidence from multiple case studies. *Research in Developmental Disabilities*, *51-52*, 89-102. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.01.006

Cavalli, E., Colé, P., Brèthes, H., Lefevre, E., Lascombe, S., & Velay, J. L. (2019). E-book reading hinders aspects of long-text comprehension for adults with dyslexia. *Annals of Dyslexia*, *69*(2), 243-259. https://doi.org/10.1007/s11881-019-00182-w

Cavalli, E., Colé, P., Leloup, G., Poracchia-George, F., Sprenger-Charolles, L., & El Ahmadi, A. (2018). Screening for Dyslexia in French-Speaking University Students : An Evaluation of the Detection Accuracy of the Alouette Test. *Journal of Learning Disabilities*, *51*(3), 268-282. https://doi.org/10.1177/0022219417704637

Cavalli, E., Colé, P., Pattamadilok, C., Badier, J.-M., Zielinski, C., Chanoine, V., & Ziegler, J. C. (2017). Spatiotemporal reorganization of the reading network in adult dyslexia. *Cortex*, *92*, 204-221. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.04.012

Cavalli, E., Duncan, L. G., Elbro, C., El Ahmadi, A., & Colé, P. (2017). Phonemic—Morphemic dissociation in university students with dyslexia : An index of reading compensation? *Annals of Dyslexia*, *67*(1), 63-84. https://doi.org/10.1007/s11881-016-0138-y

Chan, T. K. S., Wong, S. W. L., Wong, A. M.-Y., & Leung, V. W.-H. (2019). The Influence of Presentation Format of Story on Narrative Production in Chinese Children Learning English-as-a-Second-Language : A Comparison Between Graphic Novel, Illustration Book and Text. *Journal of Psycholinguistic Research*, *48*(1), 221-242. https://doi.org/10.1007/s10936-018-9600-9

Chrysochoou, E., Bablekou, Z., & Tsigilis, N. (2011). Working Memory Contributions to Reading Comprehension Components in Middle Childhood Children. *The American Journal of Psychology*, *124*(3), 275-289.

Cohn, N. (2013a). Beyond speech balloons and thought bubbles : The integration of text and image. *Semiotica*, *2013*(197), 35-63. https://doi.org/10.1515/sem-2013-0079

Cohn, N. (2013b). Visual Narrative Structure. *Cognitive Science*, *37*(3), 413-452. https://doi.org/10.1111/cogs.12016

Cohn, N. (2014). *The Visual Language Fluency Index : A measure of "comic reading expertise."* www.visuallanguagelab.com/resources.html.

Cohn, N. (2016). A multimodal parallel architecture : A cognitive framework for multimodal interactions. *Cognition*, *146*, 304-323. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2015.10.007

Cohn, N. (2019). Visual narratives and the mind : Comprehension, cognition, and learning. In *Psychology of Learning and Motivation—Advances in Research and Theory* (Vol. 70, p. 97-127). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/bs.plm.2019.02.002

Cohn, N. (2020). Visual narrative comprehension : Universal or not? *Psychonomic Bulletin and Review*, *27*(2), 266-285. https://doi.org/10.3758/s13423-019-01670-1

Cohn, N., Paczynski, M., Jackendoff, R., Holcomb, P. J., & Kuperberg, G. R. (2012). (Pea)nuts and bolts of visual narrative : Structure and meaning in sequential image comprehension. *Cognitive Psychology*, *65*(1), 1-38. https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2012.01.003

Cohn, N., & Schilperoord, J. (2022). Remarks on Multimodality : Grammatical Interactions in the Parallel Architecture. *Frontiers in Artificial Intelligence*, *4*, 778060. https://doi.org/10.3389/frai.2021.778060

Colé, P., & Sprenger-Charolles, L. (2021). *La dyslexie : De l'enfant à l'adulte*. Dunod. https://doi.org/10.3917/dunod.cole.2021.01

Cook, M. P. (2017). Now I "See" : The Impact of Graphic Novels on Reading Comprehension in High School English Classrooms. *Literacy Research and Instruction*, *56*(1), 21-53. https://doi.org/10.1080/19388071.2016.1244869

Corkett, J. K., & Parrila, R. (2008). Use of context in the word recognition process by adults with a significant history of reading difficulties. *Annals of Dyslexia*, *58*(2), 139-161. https://doi.org/10.1007/s11881-008-0018-1

Crawford, P. (2004). A Novel Approach : Using Graphic Novels to Attract Reluctant Readers and Promote Literacy. *Library Media Connection*, 26-28.

Damasio, A. R. (1989). Time-locked multiregional retroactivation : A systems-level proposal for the neural substrates of recall and recognition. *Cognition*, *33*(1-2), 25-62. https://doi.org/10.1016/0010-0277(89)90005-X

Dawson, K., Zhu, J., Ritzhaupt, A. D., Antonenko, P., Saunders, K., Wang, J., & Lombardino, L. (2021). The influence of the multimedia and modality principles on the learning outcomes, satisfaction, and mental effort of college students with and without dyslexia. *Annals of Dyslexia*, *71*(1), 188-210. https://doi.org/10.1007/s11881-021-00219-z

Deacon, S. H., Cook, K., & Parrila, R. (2012). Identifying high-functioning dyslexics : Is self-report of early reading problems enough? *Annals of Dyslexia*, *62*(2), 120-134. https://doi.org/10.1007/s11881-012-0068-2

Dempster, F. N. (1981). Memory span : Sources of individual and developmental differences. *Psychological Bulletin*, *89*(1), 63-100. https://doi.org/10.1037/0033-2909.89.1.63

Dufva, M., Niemi, P., & Voeten, M. J. M. (2001). The role of phonological memory, word recognition, and comprehension skills in reading development : From preschool to grade 2. *Reading and Writing : An Interdisciplinary Journal*, *14*, 91-117.

Dunn, L., Dunn, L., & Thériault-Whalen, C. (1993). *Echelles de vocabulaire en image de Peabody : EVIP*. Psycan.

Dupont, W., Papaxanthis, C., Lebon, F., & Madden-Lombardi, C. (2023). *Mental simulations and action language are impaired in individuals with aphantasia*. http://biorxiv.org/lookup/doi/10.1101/2023.03.16.532945

Eitel, A., Scheiter, K., & Schüler, A. (2013). How inspecting a picture affects processing of text in multimedia learning. *Applied Cognitive Psychology*, *27*(4), 451-461. https://doi.org/10.1002/acp.2922

Eitel, A., Scheiter, K., Schüler, A., Nyström, M., & Holmqvist, K. (2013). How a picture facilitates the process of learning from text : Evidence for scaffolding. *Learning and Instruction*, *28*(4), 48-63. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.05.002

Farinella, M. (2018). The potential of comics in science communication. *Journal of Science Communication*, *17*(1), 1-17. https://doi.org/10.22323/2.17010401

Foulsham, T., & Cohn, N. (2020). Zooming in on visual narrative comprehension. *Memory and Cognition*, *September*. https://doi.org/10.3758/s13421-020-01101-w

Foulsham, T., Wybrow, D., & Cohn, N. (2016). Reading Without Words : Eye Movements in the Comprehension of Comic Strips. *Applied Cognitive Psychology*, *30*(4), 566-579. https://doi.org/10.1002/acp.3229

Francis, D. J., Kulesz, P. A., & Benoit, J. S. (2018). Extending the Simple View of Reading to Account for Variation Within Readers and Across Texts : The Complete View of Reading (CVR *i*). *Remedial and Special Education*, *39*(5), 274-288. https://doi.org/10.1177/0741932518772904

Franken, G., Podlesek, A., & Možina, K. (2015). Eye-tracking Study of Reading Speed from LCD Displays : Influence of Type Style and Type Size. *Journal of Eye Movement Research*, *8*(1). https://doi.org/10.16910/jemr.8.1.3

Galton, F. (1880). Statistics of Mental Imagery. *Mind*, *5*(19), 301-318.

García-Madruga, J. A., Elosúa, M. R., Gil, L., Gómez-Veiga, I., Vila, J. Ó., Orjales, I., Contreras, A., Rodríguez, R., Melero, M. Á., & Duque, G. (2013). Reading Comprehension and Working Memory's Executive Processes : An Intervention Study in Primary School

Students. *Reading Research Quarterly*, *48*(2), 155-174. https://doi.org/10.1002/rrq.44

Gelman, R., Bullock, M., & Meck, E. (1980). Preschoolers' Understanding of Simple Object Transformations. *Child Development*, *51*(3), 691-699. https://doi.org/10.2307/1129454

Gernsbacher, M. A., Varner, K. R., & Faust, M. E. (1990). Investigating differences in general comprehension skill. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *16*(3), 430-445. https://doi.org/10.1037/0278-7393.16.3.430

Glaser, W. R. (1992). Picture Naming. *Cognition*, *42*, 61-105.

Golding, S., & Verrier, D. (2020). Teaching people to read comics : The impact of a visual literacy intervention on comprehension of educational comics. *Journal of Graphic Novels and Comics*, *00*(00), 1-13. https://doi.org/10.1080/21504857.2020.1786419

Gough, P., & Tunmer, W. (1986). Decoding, reading, and reading disability. *Remedial and Special Education*, *7*(1), 6-10.

Green, M. J., & Myers, K. R. (2010). Graphic medicine : Use of comics in medical education and patient care. *BMJ (Online)*, *340*(7746), 574-577. https://doi.org/10.1136/bmj.c863

Guo, D., Zhang, S., Wright, K. L., & McTigue, E. M. (2020). Do You Get the Picture? A Meta-Analysis of the Effect of Graphics on Reading Comprehension. *AERA Open*, *6*(1), 233285842090169. https://doi.org/10.1177/2332858420901696

Gyselinck, V., Cornoldi, C., Dubois, V., De Beni, R., & Ehrlich, M. (2002). Visuospatial memory and phonological loop in learning from multimedia. *Applied Cognitive Psychology*, *16*(6), 665-685. https://doi.org/10.1002/acp.823

Hallenbeck, P. N. (1976). Remediating with Comic Strips. *Journal of Learning Disabilities*, *9*(1), 11-15. https://doi.org/10.1177/002221947600900102

Hanson, A., Drendel, A. L., Ashwal, G., & Thomas, A. (2017). The Feasibility of Utilizing a Comic for Education in the Emergency Department Setting. *Health Communication*, *32*(5), 529-532. https://doi.org/10.1080/10410236.2016.1211076

Hebert, M., Zhang, X., & Parrila, R. (2018). Examining reading comprehension text and question answering time differences in university students with and without a history of reading difficulties. *Annals of Dyslexia*, *68*(1), 15-24. https://doi.org/10.1007/s11881-017-0153-7

Holmqvist Olander, M., Wennås Brante, E., & Nyström, M. (2017). The Effect of Illustration on Improving Text Comprehension in Dyslexic Adults. *Dyslexia*, *23*(1), 42-65. https://doi.org/10.1002/dys.1545

Hoover, W. A., & Gough, P. B. (1990). The simple view of reading. *Reading and Writing*, *2*(2), 127-160. https://doi.org/10.1007/BF00401799

Houts, P. S., Doak, C. C., Doak, L. G., & Loscalzo, M. J. (2006). The role of pictures in improving health communication : A review of research on attention, comprehension, recall, and adherence. *Patient Education and Counseling*, *61*(2), 173-190. https://doi.org/10.1016/j.pec.2005.05.004

ICv2. (2023, octobre 16). COVID surge in comics and graphic novel sales crested in 2022. *ICv2*. https://icv2.com/articles/markets/view/55334/covid-surge-comics-graphic-novel-sales-crested-2022

Ishii, T., Igaki, T., Kurata, K., Omori, T., & Masuda, N. (2004). Eye catchers in comics : Controlling eye movements in reading pictorial and textual media. *International Journal of Psychology*, *39*(5-6, S), 103.

Jakobsen, A. L., & Jensen, K. T. H. (2008). Eye movement behaviour across four different types of reading task. *Copenhagen studies in language*, *36*, 103-124.

Jee, B. D., & Anggoro, F. K. (2012). Comic Cognition : Exploring the Potential Cognitive Impacts of Science Comics. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, *11*(2), 196-208. https://doi.org/10.1891/1945-8959.11.2.196

Jian, Y.-C. (2015). Fourth Graders' Cognitive Processes and Learning Strategies for Reading Illustrated Biology Texts : Eye Movement Measurements. *Reading Research Quarterly*, *51*(1), 93-109.

Jian, Y.-C. (2023). Reading Behavior in Science Comics and Its Relations with Comprehension Performance and Reading Attitudes : An Eye-tracker Study. *Research in Science Education*, *53*(4), 689-706. https://doi.org/10.1007/s11165-022-10093-3

Johnson, C. I., & Mayer, R. E. (2012). An eye movement analysis of the spatial contiguity effect in multimedia learning. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *18*(2), 178-191. https://doi.org/10.1037/a0026923

Josephson, S. (2008). Keeping Your Readers' Eyes on the Screen : An Eye-Tracking Study Comparing Sans Serif and Serif Typefaces. *Visual Communication Quarterly*, *15*(1-2), 67-79. https://doi.org/10.1080/15551390801914595

Kassambara, A. (2023). *rstatix : Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests*. https://CRAN.R-project.org/package=rstatix

Keenan, J. M., Betjemann, R. S., & Olson, R. K. (2008). Reading Comprehension Tests Vary in the Skills They Assess : Differential Dependence on Decoding and Oral Comprehension. *Scientific Studies of Reading*, *12*(3), 281-300. https://doi.org/10.1080/10888430802132279

Kendeou, P., McMaster, K. L., Butterfuss, R., Kim, J., Bresina, B., & Wagner, K. (2020). The Inferential Language Comprehension (iLC) Framework : Supporting Children's Comprehension of Visual Narratives. *Topics in Cognitive Science*, *12*(1), 256-273. https://doi.org/10.1111/tops.12457

Kennedy, T., & Cariveau, T. (2023). Picture-Text Compounds in Early Reading : A Descriptive Review. *Behavior and Social Issues*. https://doi.org/10.1007/s42822-023-00139-0

Kim, J., Chung, M. S., Jang, H. G., & Chung, B. S. (2017). The use of educational comics in learning anatomy among multiple student groups. *Anatomical Sciences Education*, *10*(1), 79-86. https://doi.org/10.1002/ase.1619

Kim, S., Lombardino, L. J., Cowles, W., & Altmann, L. J. (2014). Investigating graph comprehension in students with dyslexia : An eye tracking study. *Research in Developmental Disabilities*, *35*(7), 1609-1622. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.03.043

Kim, S., Wiseheart, R., & Walden, P. R. (2018). Do Multimedia Instructional Designs Enhance Comprehension in College Students with Dyslexia? *Journal of Postsecondary Education and Disability*, *31*(4), 361-365.

Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension : A construction-integration model. *Psychological Review*, *95*(2), 163-182. https://doi.org/10.1037/0033-295X.95.2.163

Kintsch, W. (1998). *Comprehension : A paradigm for cognition*. Cambridge university press.

Kinzer, C. K., Hoffman, D. L., Turkay, S., Gunbas, N., & Chantes, P. (2011). Exploring Motivation and Comprehension of a Narrative in a Video Game, Book, and Comic Book Format. *60th Yearbook of the Literacy Research Association*.

Kinzer, C. K., Turkay, S., Hoffman, D. L., Gunbas, N., Chantes, P., Chaiwinij, A., & Dvorkin, T. (2012). Examining the Effects of Text and Images on Story Comprehension : An Eye-Tracking Study of Reading in a Video Game and Comic Book. *61st Yearbook of the Literacy Research Association*, *c*, 259-275.

Kirby, J. R., & Savage, R. S. (2008). Can the simple view deal with the complexities of reading? *Literacy*, *42*(2), 75-82. https://doi.org/10.1111/j.1741-4369.2008.00487.x

Kirby, J. R., Silvestri, R., Allingham, B. H., Parrila, R., & La Fave, C. B. (2008). Learning strategies and study approaches of postsecondary students with dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, *41*(1), 85-96. https://doi.org/10.1177/0022219407311040

Kirtley, C., Murray, C., Vaughan, P. B., & Tatler, B. W. (2018). Reading words and images : Factors influencing eye movements in comic reading. In A. Dunst, J. Laubrock, & J. Wildfeuer (Éds.), *Empirical comics research* (p. 264-283). Routledge.

Kirtley, C., Murray, C., Vaughan, P. B., & Tatler, B. W. (2023). Navigating the narrative : An eye-tracking study of readers' strategies when Reading comic page layouts. *Applied Cognitive Psychology*, *37*(1), 52-70. https://doi.org/10.1002/acp.4018

Kotval, X., & Goldberg, J. (1998). Eye Movements and Interface Component Grouping : An Evaluation Method. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *42*, 486-490. https://doi.org/10.1177/154193129804200509

Kovacs, F., Oliver-Frontera, M., Plana, M. N., Royuela, A., Muriel, A., & Gestoso, M. (2011). Improving Schoolchildren's Knowledge of Methods for the Prevention and Management of Low Back Pain. *Spine*, *36*(8), E505-E512. https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181dccebc

Krejtz, K., Duchowski, A. T., Krejtz, I., Kopacz, A., & Chrząstowski-Wachtel, P. (2016). Gaze transitions when learning with multimedia. *Journal of Eye Movement Research*, *9*(1). https://doi.org/10.16910/jemr.9.1.5

Lakens, D., & Caldwell, A. R. (2021). Simulation-Based Power Analysis for Factorial Analysis of Variance Designs. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, *4*(1), 2515245920951503. https://doi.org/10.1177/2515245920951503

Lapeyre, E., Melmi, J.-B., Colé, P., & Calabrèse, A. (2024). Pulsed lighting for adults with Dyslexia : Very limited impact, confined to individuals with severe reading deficits. *Scientific Reports*, *14*(1), 22320. https://doi.org/10.1038/s41598-024-73273-3

Larkin, J. H., & Simon, H. A. (1987). Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words. *Cognitive Science*, *11*(1), 65-100. https://doi.org/10.1111/j.1551-6708.1987.tb00863.x

Laubrock, J., Hohenstein, S., & Kümmerer, M. (2018). Attention to comics : Cognitive processing during the reading of graphic literature. In A. Dunst, J. Laubrock, & J. Wildfeuer (Éds.), *Empirical comics research* (p. 239-263). Routledge.

Lefavrais, P. (2005). *ALOUETTE-R - Test d'analyse de la lecture et de la dyslexie*. ECPA.

Lefly, D. L., & Pennington, B. F. (1991). Spelling errors and reading fluency in compensated adult dyslexics. *Annals of Dyslexia*, *41*(1), 141-162. https://doi.org/10.1007/BF02648083

Lefly, D. L., & Pennington, B. F. (2000). Reliability and validity of the adult reading history questionnaire. *Journal of Learning Disabilities*, *33*(3), 286-296. https://doi.org/10.1177/002221940003300306

Lervåg, A., Hulme, C., & Melby-Lervåg, M. (2018). Unpicking the Developmental Relationship Between Oral Language Skills and Reading Comprehension : It's

Simple, But Complex. *Child Development*, *89*(5), 1821-1838. https://doi.org/10.1111/cdev.12861

Levie, W. H., & Lentz, R. (1982). Effects of text illustrations : A review of research. *Education, Communication and Technology Journal*, *30*(4), 195-232. https://doi.org/10.1007/BF02765184

Lin, S. F., Lin, H. shyang, Lee, L., & Yore, L. D. (2014). Are Science Comics a Good Medium for Science Communication ? The Case for Public Learning of Nanotechnology. *International Journal of Science Education, Part B: Communication and Public Engagement*, *5*(3), 276-294. https://doi.org/10.1080/21548455.2014.941040

Lindfors, H., Hansson, K., Pakulak, E., Cohn, N., & Andersson, A. (2024). Semantic processing of verbal narratives compared to semantic processing of visual narratives : An ERP study of school-aged children. *Frontiers in Psychology*, *14*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1253509

Lindner, M. A., Eitel, A., Strobel, B., & Köller, O. (2017). Identifying processes underlying the multimedia effect in testing : An eye-movement analysis. *Learning and Instruction*, *47*, 91-102. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.10.007

Liu, J. (2004). Effects of Comic Strips on L2 Learners' Reading Comprehension. *TESOL Quarterly*, *38*(2), 225. https://doi.org/10.2307/3588379

Lonigan, C. J., Burgess, S. R., & Schatschneider, C. (2018). Examining the Simple View of Reading With Elementary School Children : Still Simple After All These Years. *Remedial and Special Education*, *39*(5), 260-273. https://doi.org/10.1177/0741932518764833

Loschky, L. C., Larson, A. M., Smith, T. J., & Magliano, J. P. (2020). The Scene Perception & Event Comprehension Theory (SPECT) Applied to Visual Narratives. *Topics in Cognitive Science*, *12*(1), 311-351. https://doi.org/10.1111/tops.12455

Loschky, L., Hutson, J., Smith, M., Smith, T., & Magliano, J. (2018). Viewing Static Visual Narratives Through the Lens of the Scene Perception and Event Comprehension Theory (SPECT). In J. Laubrock, J. Wildfeuer, & A. Dunst (Éds.), *Empirical Comics Research : Digital, Multimodal, and Cognitive Methods*. Routledge.

MacKinnon, D. P. (2000). Equivalence of the Mediation, Confounding and Suppression Effect. *Prevention Science*, *1*(4), 173-181. https://doi.org/10.1023/A:1026595011371

Magliano, J. P., Loschky, L. C., Clinton, J. A., & Larson, A. M. (2013). Is Reading the Same as Viewing ? In B. Miller, L. Cutting, & P. McCardle (Éds.), *Unraveling the Behavioral, Neurobiological and Genetic Components of Reading Comprehension* (p. 78-90). Brookes Publishing Co.

Martin, J., Colé, P., Leuwers, C., Casalis, S., Zorman, M., & Sprenger-Charolles, L. (2010). Reading in French-speaking adults with dyslexia. *Annals of Dyslexia*, *60*(2), 238-264. https://doi.org/10.1007/s11881-010-0043-8

Masseti, T., Crocetta, T., Guarnieri, R., Silva, T., Leal, A., Voos, M., & Monteiro, C. (2018). A didactic approach to presenting verbal and visual information to children participating in research protocols : The comic book informed assent. *Clinics*, *73*(10), 1-6. https://doi.org/10.6061/clinics/2018/e207

Massonnié, J., Bianco, M., Lima, L., & Bressoux, P. (2018). Longitudinal predictors of reading comprehension in French at first grade : Unpacking the oral comprehension component of the simple view. *Learning and Instruction*. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2018.01.005

Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012). OpenSesame : An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, *44*(2), 314-324. https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7

Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning*. Cambridge University Press.

McCloud, S. (1993). *Understanding Comics : The Invisible Art*. HarperCollins Publisher, Inc.

McCloud, S. (2006). *Making comics : Storytelling secrets of comics, manga and graphic novels*. Harper New York.

McGeown, S., Bonsall, J., Andries, V., Howarth, D., & Wilkinson, K. (2020). Understanding reading motivation across different text types : Qualitative insights from children. *Journal of Research in Reading*, *43*(4), 597-608. https://doi.org/10.1111/1467-9817.12320

McVicker, C. J. (2007). Comic Strips as a Text Structure for Learning to Read. *The Reading Teacher*, *61*(1), 85-88. https://doi.org/10.1598/rt.61.1.9

Megherbi, H., Seigneuric, A., & Ehrlich, M.-F. (2006). Reading comprehension in French 1st and 2nd grade children : Contribution of decoding and language comprehension. *European Journal of Psychology of Education*, *21*(2), 135-147.

Miller, A. C., & Keenan, J. M. (2009). How Word Reading Skill Impacts Text Memory : The Centrality Deficit and How Domain Knowledge Can Compensate. *Annals of dyslexia*, *59*(2), 99-113. https://doi.org/10.1007/s11881-009-0025-x

Moojen, S. M. P., Gonçalves, H. A., Bassôa, A., Navas, A. L., De Jou, G., & Miguel, E. S. (2020). Adults with dyslexia : How can they achieve academic success despite impairments in basic reading and writing abilities? The role of text structure sensitivity as a compensatory skill. *Annals of Dyslexia*, *70*(1), 115-140. https://doi.org/10.1007/s11881-020-00195-w

Nalu, A., & Bliss, J. P. (2011). Comics as a cognitive training medium for expert decision making. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2123-2127. https://doi.org/10.1177/1071181311551443

Nouwens, S., Groen, M. A., Kleemans, T., & Verhoeven, L. (2021). How executive functions contribute to reading comprehension. *British Journal of Educational Psychology*, *91*(1), e12355. https://doi.org/10.1111/bjep.12355

Oppermann, F., Hassler, U., Jescheniak, J. D., & Gruber, T. (2012). The Rapid Extraction of Gist—Early Neural Correlates of High-level Visual Processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *24*(2), 521-529. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00100

Paivio, A. (1986). *Mental representations : A dual coding approach*. Oxford University Press ; Clarendon Press.

Palmer, C., & Sharif, B. (2016). Towards automating fixation correction for source code. *Proceedings of the Ninth Biennial ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, 65-68. https://doi.org/10.1145/2857491.2857544

Parrila, R., Georgiou, G., & Corkett, J. (2007). University Students with a Significant History of Reading Difficulties : What Is and Is Not Compensated? *Exceptionality Education International*, *17*(2), 195-220.

Peng, P., Barnes, M., Wang, C. C., Wang, W., Li, S., Swanson, H. L., Dardick, W., & Tao, S. (2018). Meta-analysis on the relation between reading and working memory. *Psychological Bulletin*, *144*(1), 48-76. https://doi.org/10.1037/bul0000124

Perea, M., Marcet, A., Uixera, B., & Vergara-Martínez, M. (2018). Eye movements when reading sentences with handwritten words. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *71*(1), 20-27. https://doi.org/10.1080/17470218.2016.1237531

Perea, M., Panadero, V., Moret-Tatay, C., & Gómez, P. (2012). The effects of inter-letter spacing in visual-word recognition : Evidence with young normal readers and developmental dyslexics. *Learning and Instruction*, *22*(6), 420-430. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.04.001

Perfetti, C. (2007). Reading Ability : Lexical Quality to Comprehension. *Scientific Studies of Reading*, *11*(4), 357-383. https://doi.org/10.1080/10888430701530730

Perfetti, C., & Adlof, S. M. (2012). Reading Comprehension : A Conceptual Framework from Word Meaning to Text Meaning. In J. H. Sabatini, E. R. Albro, & T. O'Reilly (Éds.), *Measuring Up : Advances in how to assess reading ability*. Rowman & Littlefied Education.

Perfetti, C., Landi, N., & Oakhill, J. (2005). The Acquisition of Reading Comprehension Skill. In M. J. Snowling & C. Hulme (Éds.), *The Science of Reading : A Handbook* (p. 227-247). Blackwell Publishers. https://doi.org/10.1002/9780470757642.ch13

Perfetti, C., & Stafura, J. (2014). Word Knowledge in a Theory of Reading Comprehension. *Scientific Studies of Reading*, *18*(1), 22-37. https://doi.org/10.1080/10888438.2013.827687

Pike, M. M., Barnes, M. A., & Barron, R. W. (2010). The role of illustrations in children's inferential comprehension. *Journal of Experimental Child Psychology*, *105*(3), 243-255. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.10.006

Potter, M. C. (1975). Meaning in Visual Search. *Science*, *187*(4180), 965-966.

Potter, M. C., & Faulconer, B. A. (1975). Time to understand pictures and words. *Nature*, *253*(5491), 437-438. https://doi.org/10.1038/253437a0

R Core Team. (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Ramus, F. (2003). Developmental dyslexia : Specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology*, *13*(2), 212-218. https://doi.org/10.1016/S0959-4388(03)00035-7

Ramus, F., Rosen, S., Dakin, S. C., Day, B. L., Castellote, J. M., White, S., & Frith, U. (2003). Theories of developmental dyslexia : Insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, *126*(4), 841-865. https://doi.org/10.1093/brain/awg076

Ransby, M. J., & Swanson, H. L. (2003). Reading Comprehension Skills of Young Adults with Childhood Diagnoses of Dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, *36*(6), 538-555. https://doi.org/10.1177/00222194030360060501

Rasamimanana, M., Raphaël Mizzi, Melmi, J. B., Saffi, S., & Colé, P. (in revision). *Is comprehension in comics more effective than in traditional texts ? An eye movement-based study*.

Raven, J. (2003). Raven Progressive Matrices. In R. S. McCallum (Éd.), *Handbook of Nonverbal Assessment* (p. 223-237). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0153-4_11

Raven, J. (2019). *RAVEN'S 2—Matrices Progressives—2nde édition*. ECPA.

Rayner, K. (1998a). Eye Movements in Reading and Information Processing : 20 Years of Research. *Psychological Bulletin*, *124*(3), 372-422.

Rayner, K. (1998b). Eye movements in reading and information processing : 20 years of research. *Psychological Bulletin*, *124*(3), 372-422. https://doi.org/10.1037/0033-2909.124.3.372

Rayner, K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *62*(8), 1457-1506. https://doi.org/10.1080/17470210902816461

Rayner, K., Chace, K. H., Slattery, T., & Ashby, J. (2006). Eye Movements as Reflections of Comprehension Processes in Reading. *Scientific Studies of Reading*, *10*(3), 241-255.

Rayner, K., Rotello, C. M., Stewart, A. J., Keir, J., & Duffy, S. A. (2001). Integrating text and pictorial information : Eye movements when looking at print advertisements.

Journal of Experimental Psychology: Applied, *7*(3), 219-226. https://doi.org/10.1037/1076-898X.7.3.219

Reis, A., Araújo, S., Morais, I. S., & Faísca, L. (2020). Reading and reading-related skills in adults with dyslexia from different orthographic systems : A review and meta-analysis. *Annals of Dyslexia*, *70*(3), 339-368. https://doi.org/10.1007/s11881-020-00205-x

Renkl, A., & Scheiter, K. (2017). Studying Visual Displays : How to Instructionally Support Learning. *Educational Psychology Review*, *29*(3), 599-621.

Rey, A. (1959). *Test de copie et de reproduction de mémoire de figures géométriques complexes*. Editions du centre de psychologie appliquée.

Ripoll Salceda, J. C., Aguado Alonso, G., & Castilla-Earls, A. P. (2014). The simple view of reading in elementary school : A systematic review. *Revista de Logopedia, Foniatría y Audiología*, *34*(1), 17-31. https://doi.org/10.1016/j.rlfa.2013.04.006

Saguisag, L. (2017). Picturebooks and Comics. In B. Kümmerling-Meibauer (Éd.), *The Routledge Companion to Picturebooks* (1re éd.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315722986

Saltzman, E. B. (2017). Novel to Graphic Novel. In S. Tabachnick (Éd.), *The Cambridge Companion to the Graphic Novel* (1re éd., p. 144-159). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781316258316.011

Samuels, S. J. (1970). Effects of Pictures on Learning to Read, Comprehension and Attitudes. *Review of Educational Research*, *40*(3), 397-407. https://doi.org/10.3102/00346543040003397

Savage, R., & Wolforth, J. (2007). An Additive Simple View of Reading Describesthe Performance of Good and Poor Readersin Higher Education. *Exceptionality Education International*, *17*(2). https://doi.org/10.5206/eei.v17i2.7606

Schneps, M. H., Thomson, J. M., Sonnert, G., Pomplun, M., Chen, C., & Heffner-Wong, A. (2013). Shorter Lines Facilitate Reading in Those Who Struggle. *PLoS ONE*, *8*(8), e71161. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071161

Schwarz, G. (2006). Expanding Literacies through Graphic Novels. *English Journal*, *95*(6), 58. https://doi.org/10.2307/30046629

Seger, B. T., Wannagat, W., & Nieding, G. (2021). Children's surface, textbase, and situation model representations of written and illustrated written narrative text. *Reading and Writing*, *34*(6), 1415-1440. https://doi.org/10.1007/s11145-020-10118-1

Shaul, S., & Rom, Z. (2019). The Differences in Semantic Processing of Pictures and Words between Dyslexic and Typical-Reading University Students. *Psychology*, *10*(02), 235-255. https://doi.org/10.4236/psych.2019.102018

Short, J. C., Randolph-Seng, B., & McKenny, A. F. (2013). Graphic Presentation : An Empirical Examination of the Graphic Novel Approach to Communicate Business Concepts. *Business Communication Quarterly*, *76*(3), 273-303. https://doi.org/10.1177/1080569913482574

Sinha, I., Patel, A., Kim, F. S., MacCorkle, M. L., & Watkins, J. F. (2011). Comic Books Can Educate Children About Burn Safety in Developing Countries. *Journal of Burn Care & Research*, *32*(4), e112-e117. https://doi.org/10.1097/BCR.0b013e3182223c6f

Smith, P. L., Goodmon, L. B., Howard, J. R., Hancock, R., Hartzell, K. A., & Hilbert, S. E. (2019). Graphic novelisation effects on recognition abilities in students with dyslexia. *Journal of Graphic Novels and Comics*, *00*(00), 1-18. https://doi.org/10.1080/21504857.2019.1635175

Sonine, A., & Chanquoy, L. (2007). Proposition de modélisation de la compréhension de textes multimédias de type « bandes dessinées » : Analyse de l'impact des

composantes verbales et imagées. *Annee Psychologique*, *107*(2), 181-210. https://doi.org/10.4074/S0003503307002023

Sperber, R. D., McCauley, C., Ragain, R. D., & Weil, C. M. (1979). Semantic priming effects on picture and word processing. *Memory & Cognition*, *7*(5), 339-345. https://doi.org/10.3758/BF03196937

Spiegel, A. N., McQuillan, J., Halpin, P., Matuk, C., & Diamond, J. (2013). Engaging Teenagers with Science Through Comics. *Research in Science Education*, *43*(6), 2309-2326. https://doi.org/10.1007/s11165-013-9358-x

Sprenger-Charolles, L., Colé, P., Béchennec, D., & Kipffer-Piquard, A. (2005). French normative data on reading and related skills from EVALEC, a new computerized battery of tests (end Grade 1, Grade 2, Grade 3, and Grade 4). *European Review of Applied Psychology*, *55*(3), 157-186. https://doi.org/10.1016/j.erap.2004.11.002

Stenning, K., & Oberlander, J. (1995). A Cognitive Theory of Graphical and Linguistic Reasoning : Logic and Implementation. *Cognitive Science*, *19*(1), 97-140. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1901_3

Suen, M., Li, W.-O., & Wong, S. W. L. (2018). A Review of the Cognitive and Emotive Mechanisms Underpinning the Facilitatory Effects of Comic Features on Reading Comprehension. *EC Psychology and pychiatry*, *3*, 106-111.

Syndicat National de l'Edition. (2022). *Les Chiffres de l'Editions 2021-2022 : Synthèse du Rapport Statistique du SNE*.

Syndicat National de l'Edition. (2023). *Les Chiffres de l'édition 2023-2024*.

Tatalovic, M. (2009). Science comics as tools for science education and communication : A brief, exploratory study. *Journal of Science Communication*, *08*(04). https://doi.org/10.22323/2.08040202

Themelis, C., & Sime, J.-A. (2020). Comics for inclusive, technology-enhanced language learning. In S. Mavridi & V. Saumell (Éds.), *Digital innovations and research in language learning* (p. 93-114). IATEFL.

Torcasio, S., & Sweller, J. (2010). The use of illustrations when learning to read : A cognitive load theory approach. *Applied Cognitive Psychology*, *24*(5), 659-672. https://doi.org/10.1002/acp.1577

Tunmer, W. E., & Chapman, J. W. (2012). The Simple View of Reading Redux : Vocabulary Knowledge and the Independent Components Hypothesis. *Journal of Learning Disabilities*, *45*(5), 453-466. https://doi.org/10.1177/0022219411432685

Underwood, G., Hubbard, A., & Wilkinson, H. (1990). Eye Fixations Predict Reading Comprehension : The Relationships between Reading Skill, Reading Speed, and Visual Inspection. *Language and Speech*, *33*(1), 69-81. https://doi.org/10.1177/002383099003300105

Valente, A., Pinet, S., Alario, F.-X., & Laganaro, M. (2016). "When" Does Picture Naming Take Longer Than Word Reading? *Frontiers in Psychology*, *7*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00031

van der Kleij, S. W., Groen, M. A., Segers, E., & Verhoeven, L. (2019). Enhanced semantic involvement during word recognition in children with dyslexia. *Journal of Experimental Child Psychology*, *178*, 15-29. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.09.006

van Dijk, T. A. van, & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. Academic press.

Vincent Gerard, A., Chaniot, C., & Lapointe, M. (2020). *Les Français et la BD* [Webinar].

von Reumont, F., & Budke, A. (2020). Strategies for Successful Learning with Geographical Comics : An Eye-Tracking Study with Young Learners. *Education Sciences*, *10*(10), 293. https://doi.org/10.3390/educsci10100293

Wada, Y. (2023). Consistency and stability of gaze behavior when reading manga. *Applied Cognitive Psychology*, *37*(3), 542-557. https://doi.org/10.1002/acp.4059

Wang, J., Dawson, K., Saunders, K., Ritzhaupt, A. D., Antonenko, P. "Pasha", Lombardino, L., Keil, A., Agacli-Dogan, N., Luo, W., Cheng, L., & Davis, R. O. (2018). Investigating the Effects of Modality and Multimedia on the Learning Performance of College Students With Dyslexia. *Journal of Special Education Technology*, *33*(3), 182-193. https://doi.org/10.1177/0162643418754530

Wechsler, D. (2016). *WISC-V - Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents—5ème édition*. ECPA.

Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L. D., François, R., Grolemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T. L., Miller, E., Bache, S. M., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D. P., Spinu, V., … Yutani, H. (2019). Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, *4*(43), 1686. https://doi.org/10.21105/joss.01686

Willows, D. M. (1978). A picture is not always worth a thousand words : Pictures as distractors in reading. *Journal of Educational Psychology*, *70*(2), 255-262. https://doi.org/10.1037/0022-0663.70.2.255

Wiseheart, R., Altmann, L. J. P., Park, H., & Lombardino, L. J. (2009). Sentence comprehension in young adults with developmental dyslexia. *Annals of Dyslexia*, *59*(2), 151-167. https://doi.org/10.1007/s11881-009-0028-7

Wong, S. W. L., Miao, H., Cheng, R. W., & Yip, M. C. W. (2017). Graphic Novel Comprehension Among Learners with Differential Cognitive Styles and Reading Abilities. *Reading*

& Writing Quarterly, *33*(5), 412-427. https://doi.org/10.1080/10573569.2016.1216343

Yum, Y. N., Cohn, N., & Lau, W. K. W. (2021). Effects of picture-word integration on reading visual narratives in L1 and L2. *Learning and Instruction*, *71*(August 2020), 101397. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101397

Yzerbyt, V., Muller, D., Batailler, C., & Judd, C. M. (2018). New recommendations for testing indirect effects in mediational models : The need to report and test component paths. *Journal of Personality and Social Psychology*, *115*(6), 929-943. https://doi.org/10.1037/pspa0000132

Zampini, L., Suttora, C., D'Odorico, L., & Zanchi, P. (2013). Sequential reasoning and listening text comprehension in preschool children. *European Journal of Developmental Psychology*, *10*(5), 563-579. https://doi.org/10.1080/17405629.2013.766130

Zeman, A., Dewar, M., & Della Sala, S. (2015). Lives without imagery – Congenital aphantasia. *Cortex*, *73*, 378-380. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2015.05.019

Zorzi, M., Barbiero, C., Facoetti, A., Lonciari, I., Carrozzi, M., Montico, M., Bravar, L., George, F., Pech-Georgel, C., & Ziegler, J. C. (2012). Extra-large letter spacing improves reading in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *109*(28), 11455-11459. https://doi.org/10.1073/pnas.1205566109