

1 Une police de caractères adaptée permet-elle une amélioration de la
2 lecture chez les enfants dyslexiques ?

3

4 Does an adapted typeface make it easier to read for dyslexic children?

5

6 L. SPARROW*, P. DEI CAS**, R. KHELIFI***

7 *,*** Laboratoire de sciences cognitives et affectives (SCALab, UMR CNRS 9193), Université
8 de Lille.

9 ** Orthophoniste libérale, Lille.

10 Auteur de correspondance : Laurent Sparrow, SCALab, Université de Lille, BP 60149, 59653
11 Villeneuve-d'Ascq,

12 France. Cedex. Email : laurent.sparrow@univ-lille3.fr

13

14 Citation : Sparrow, L., Dei Cas, P. & Khelifi, R. (2016). Une police de caractères adaptée permet-
15 elle une amélioration de la lecture chez les enfants dyslexiques ? ANAE, 144, 551-559.

16

17 Résumé :

18 Cette étude a pour objectif d'examiner si l'utilisation d'une police de caractères adaptée (Dyslexie ©)
19 permet d'améliorer la lecture de texte chez des enfants dyslexiques. En comparaison à l'utilisation
20 d'une police classique, les résultats montrent qu'une police adaptée permet de diminuer les durées de
21 fixation, d'augmenter la taille des saccades et d'améliorer la compréhension de texte. Ces effets
22 témoignent d'une plus grande aisance des enfants dyslexiques à lire avec une police adaptée.

23 Mots-clés :

24 Dyslexie, traitement visuel, mouvements oculaires, lecture de texte, police de caractères

25

26

27 Abstract

28 This study aims at examining whether the use of an adapted typeface (Dyslexie ©) improves text
29 reading in dyslexic children. In comparison to the use of a classic typeface, results show that the use
30 of an adapted typeface tends to decrease fixation duration, to increase saccade size and improves
31 understanding of the text. These effects show that reading in dyslexic children is more efficient when
32 an adapted typeface is used.

1 La dyslexie développementale est un trouble spécifique de l'apprentissage de la lecture
2 observé chez des enfants ayant une intelligence normale, ayant été scolarisé et n'ayant aucun
3 déficit sensoriel (WHO, 1992). On observe, conjointement aux difficultés de lecture, de faibles
4 capacités d'analyse phonologique et des difficultés en épellation et en écriture (Vellutino &
5 Fletcher, 2005). D'autres symptômes comme une perception visuelle instable une maladresse
6 ou une distractibilité ont été reportés (Stein & Walsh, 1997) ainsi que des déficits
7 attentionnels (Pennington, 2006). Plusieurs données expérimentales mettent en évidence une
8 présence d'un déficit phonologique central (Ramus et al., 2003), de troubles visuels et
9 oculomoteurs (Boden & Giaschi, 2007; Bucci, Brémond-Gignac & Kapoula, 2008). Ces déficits
10 ont été associés à un dysfonctionnement du système visuel magnocellulaire (Stein & Walsh,
11 1997) impliqué dans l'analyse des basses fréquences spatiales et des contrastes, dans la vision
12 parafovéale et dans le contrôle des mouvements oculaires. De fait, les dyslexiques rapportent
13 souvent être victimes de troubles visuels (impression que les lignes bougent, que les lettres
14 se chevauchent, que le texte est flou). Il est donc tout à fait possible qu'une perte de sensibilité
15 des voies magnocellulaires puisse entraîner des difficultés dans le décodage des lettres.

16 Même s'il existe un « effet de supériorité du mot » bien connu, cet effet dépend avant tout
17 de l'identification individuelle de chacune des lettres qui le composent (Pelli, Farell & Moore,
18 2003). L'efficacité dans l'identification des lettres dépend d'un facteur crucial, la complexité
19 périmétrique, c'est-à-dire la complexité visuelle des lettres (Pelli et al., 2006). Les polices de
20 caractères les plus complexes sont identifiées de façon moins efficace. Néanmoins, une
21 police de caractère trop simple (par exemple, un trait vertical pouvant être orienté par pas de
22 5° pour former toutes les lettres de l'alphabet) ne sera pas non plus très efficace car les
23 lettres ne se distinguent que par une seule dimension. Il existe donc un niveau de complexité
24 idéal qui favorise l'identification des lettres.

25 La police de caractère utilisée peut en effet avoir des conséquences sur la qualité de la lecture.
26 Par exemple, certains auteurs ont montré que la lecture est sensiblement plus rapide pour les
27 polices sans empattement (police « sans serif », Bernard, Chaparro, Mills & Halcomb, 2002;
28 Woods, Davis, & Scharff, 2005). Une des raisons invoquées est que les polices sans serif sont
29 plus espacées (Bernard et al., 2002). Selon d'autres auteurs, les enjolivures que contiennent
30 certaines polices sont autant de bruits supplémentaires rendant plus difficile l'identification
31 des lettres (Wilkins et al., 2007). De même, la distance entre la ligne de base et la hauteur de
32 la lettre en minuscule (x-height ou œil en typographie, c'est-à-dire, la hauteur d'une lettre

1 bas-de-casse sans hampe ni jambage ni signe diacritique) peut améliorer la lecture (Bernard
2 et al., 2002) mais dans une certaine limite car si cette hauteur augmente trop, les lettres
3 deviennent moins facilement discriminables et l’empan visuel devient rapidement surchargé
4 (Pelli et al., 2006). De plus, Lockhead & Crist (1980) montrent que ce ne sont pas les
5 caractéristiques intrinsèques d'une lettre qui rend son identification facile ou difficile, mais les
6 relations qui existent entre les différentes lettres d'un même alphabet. Par exemple, le fait
7 que les lettres u et n soient très souvent confondues ne proviendrait pas de leur ressemblance
8 en termes de traits visuels communs, mais plutôt du fait que les relations entre ces traits
9 visuels sont identiques pour chaque lettre (les relations entre les traits visuels entre un u et
10 un n sont identiques, elles sont juste inversées). Lockhead & Crist (1980) montrent d’ailleurs
11 que le fait de rajouter un élément distinctif à certaines lettres (un point ou une barre oblique)
12 permet améliorer l’identification de ces lettres, à la fois chez les enfants et les adultes. De
13 même, si une telle police est utilisée en début d’apprentissage, la lecture sera acquise plus
14 rapidement. Lockhead & Crist (1980) observent aussi une amélioration dans l’identification
15 des lettres chez des participants mauvais lecteurs. C’est en partant de ce principe, améliorer
16 la discriminabilité des lettres, que Boer (2009) met au point une police de caractère
17 particulière, appelée Dyslexie © (commercialisée par la société Auxilidys), et conçue dans le
18 but d’améliorer la qualité de la lecture chez les personnes dyslexiques.

19 La qualité de la lecture se mesure souvent de façon empirique (lecture à voix haute,
20 questionnaires, observation, tests classiques de lecture, mesure des erreurs) et les études
21 utilisant cette méthodologie montrent en général que les polices adaptées sont profitables.
22 Une plus grande taille de police permet d’améliorer la vitesse de lecture des dyslexiques
23 (O’Brien, Mansfield & Legge, 2005 ; Rello, Pielot, Marcos & Carlini, 2013). De même, un
24 espacement plus large des lettres peut aussi être bénéfique pour les enfants dyslexiques (Zorzi
25 et al., 2012). Certaines polices spéciales (Boer, 2009) permettent de diminuer le nombre
26 d’erreurs de lecture des personnes dyslexiques (Leeuw, 2010).

27 La méthode utilisée (lecture à voix haute) pour mesurer les erreurs de lecture peut être
28 problématique pour les dyslexiques ayant un déficit phonologique. Afin de pallier ce
29 problème, d’autres investigations ne faisant pas appel à la prononciation doivent être menées.
30 En effet, la qualité de la lecture peut aussi se mesurer à l'aide de différents indicateurs liés aux
31 mouvements oculaires des lecteurs. De nombreuses études (Hawelka, Gagl & Wimmer, 2010 ;
32 Rayner, 1986 ; Hutzler & Wimmer, 2004 ; Sparrow, 2005) ont permis de montrer que les

1 paramètres oculomoteurs des dyslexiques étaient caractérisés par des fixations plus longues
2 et plus nombreuses, par des saccades plus courtes et ne parvenant pas au point de fixation
3 optimal (zone comprenant la lettre située immédiatement à gauche du milieu du mot), par un
4 nombre plus important de refixations (après une fixation initiale, le lecteur pose son regard à
5 un autre endroit du mot, mais sans le quitter) et de régressions (le lecteur quitte le mot,
6 poursuit sa lecture, et revient un peu plus tard sur le mot) et par une capacité plus faible de
7 ne pas regarder (ou de « sauter ») un mot. En prenant en compte la théorie la plus reconnue
8 concernant la reconnaissance visuelle des mots (Coltheart et al., 2001) et son lien avec les
9 mouvements oculaires (modèle EZ-Reader de Pollatsek, Reichle, & Rayner, 2006), ces
10 indicateurs peuvent être reliés aux processus sous-lexicaux et lexicaux et permettent par
11 conséquent d'étudier leur fonctionnement (Hawelka et al., 2010). L'apport des mouvements
12 oculaires est donc très utile dès lors qu'il s'agit d'identifier les stratégies utilisées par les
13 lecteurs pour décoder les mots et ceci à plusieurs niveaux différents : celui des traitements
14 visuels initiaux (identification des traits visuels et des lettres), celui des traitements sous-
15 lexicaux (groupes de lettres), puis lexicaux (stock orthographique) et enfin, sémantiques
16 (compréhension). Par conséquent, non seulement les mouvements oculaires peuvent nous
17 renseigner de façon très précise sur le déroulement des différentes étapes de reconnaissance
18 des mots, mais en plus, ces données peuvent être recueillies de façon plus écologique, c'est-
19 à-dire, sans demander au participant autre chose que de lire silencieusement un texte comme
20 il le ferait d'habitude. La dyslexie, comme cela a été vu plus haut, est souvent associée à un
21 déficit dans le traitement phonologique et même si la cause exacte de ce déficit n'est pas
22 encore identifiée avec certitude (mauvaise qualité des représentations phonémiques, déficit
23 du système magnocellulaire ou cérébelleux) on peut néanmoins en déduire que toute activité
24 impliquant la phonologie et sa production peut poser problème au dyslexique, comme cela
25 peut être le cas quand on demande au lecteur de lire à voix haute.

26 Certaines études ont tenté d'utiliser ces mesures plus objectives de la qualité de la lecture en
27 s'intéressant aux mouvements oculaires (Rello, Kanvinde & Baeza-Yates, 2012 ; Rello & Baeza-
28 Yates, 2013). Malheureusement, elles ne sont pas concluantes car les indices oculomoteurs
29 utilisés ne permettent pas d'étudier les stratégies de lecture. En général, seules les durées
30 moyennes de fixation sont présentées, mais cet indicateur ne nous renseigne aucunement sur
31 la qualité de la lecture étant donné que cet indice n'est pas interprétable. Il convient en effet
32 de séparer les durées de fixation uniques (lorsque le mot est fixé une seule fois), les durées de

1 première fixation (premier passage sur le mot, dépendant de facteurs perceptifs), les durées
2 de regard (somme des refixations, indice lié à l'accès lexical), des durées totales (ajout des
3 régressions, indice lié à la compréhension). De plus, aucun indice spatial n'est traité (point de
4 fixation préféré, taille des saccades) alors que ces indices sont cruciaux afin d'interpréter les
5 stratégies utilisées par le lecteur.

6 Nous proposons donc d'étudier, de façon objective et expérimentale, l'efficacité d'une police
7 de caractère adaptée en utilisant les indices oculomoteurs enregistrés pendant la lecture de
8 textes en contrôlant certains facteurs considérés comme essentiels en lecture et permettant
9 ainsi de cibler plus précisément les niveaux de traitements impactés (Sparrow, Mielle &
10 Coello, 2003 ; Sparrow, 2005). Selon les modèles de référence (Coltheart et al., 2001 ;
11 Pollatsek, Reichle, & Rayner, 2006), des facteurs comme la longueur des mots, leur fréquence
12 et leur prédictibilité interagissent avec les traitements sous lexicaux, lexicaux et sémantiques.
13 Ces interactions pourront être observées sur les paramètres oculomoteurs (fixations uniques,
14 premières fixations, durées de regard et durées totales de fixation) ce qui nous renseignera
15 sur le rôle que peut avoir la police adaptée sur les traitements cognitifs. En associant à ces
16 paramètres les indices spatiaux (point de fixation préférée, taille des saccades, taux de
17 « saut » des mots), nous aurons aussi une idée plus précise de l'effet de cette police sur le
18 contrôle oculomoteur.

19 En plus de cette partie expérimentale, d'autres indicateurs empiriques seront mesurés
20 (vitesse de lecture, type d'erreurs) à l'aide d'un paradigme classique de lecture à voix haute.
21 Ces indicateurs permettront par la suite de comparer nos résultats avec ceux de la littérature
22 d'une part, et de mettre en évidence une cohérence entre les indicateurs classiques et les
23 indicateurs expérimentaux oculomoteurs d'autre part.

24

25 Méthode

26 Participants

27 Un groupe de 12 enfants dyslexiques (5 filles et 7 garçons), âgés de 9 à 15 ans (âge moyen =
28 11.4, écart-type = 2.2) a été invité par leur orthophoniste à participer à cette expérience. Une
29 lettre d'information ainsi qu'un formulaire de consentement ont été proposés aux parents
30 avant toute expérimentation. Sur l'ensemble du groupe, 11 cas de dyslexie mixte ont été
31 diagnostiqués et un cas de dyslexie lexicale.

32

1 Matériel

2 Pour les épreuves de lecture à voix haute réalisé en cabinet d'orthophonie, 2 textes ont été
3 utilisés (*Tante Juste* et *Oncle Large*, ayant respectivement 251 et 275 mots) ainsi que 2 listes
4 différentes de 20 pseudomots. Les 2 textes sont des adaptations (modification des noms des
5 personnages principaux de l'histoire par exemple) de *Monsieur Petit* et du *Géant égoïste* de la
6 batterie analytique du langage écrit (la BALE, édition cogniscience). En effet, les enfants
7 dyslexiques ayant participé à cette expérience sont régulièrement suivis par des
8 orthophonistes et ont déjà été maintes fois confrontés aux épreuves de la BALE, ce qui justifie
9 ces adaptations. Les 2 textes sont formellement équivalents (nombre de paragraphes, nombre
10 de phrases, nombre de mots, nombre de phrases par paragraphe, nombre de mots par phrase
11 et nombre de caractères par mot). Les catégories grammaticales sont équitablement
12 représentées entre les deux textes: pourcentages de noms propres, d'adverbes, de noms
13 communs, d'adjectifs et de verbes équivalents. La difficulté globale des textes est équivalente
14 (les évaluations des textes sont réalisées à l'aide du logiciel Antidote commercialisé par la
15 société Druides informatique Inc., Montréal, Québec, Canada).

16 Pour la lecture silencieuse réalisée avec enregistrement des déplacements oculaires, 2 autres
17 textes, spécialement créés pour les besoins concernant ce genre d'expérimentation, ont été
18 proposés aux enfants. Ils décrivent une histoire relativement courte dont le sens est aisément
19 accessible. Ces textes ont été construits à partir d'une sélection de 20 noms communs : 10
20 mots cibles de haute fréquence (fréquence comprise entre 80 et 1276 occurrences par million)
21 et 10 mots cibles de basse fréquence (fréquence comprise entre 2 et 50 occurrences par
22 million, base Manulex-Infra, Peereman et al., 2007, voir tableau 1). Ces mots cibles ont une
23 longueur comprise entre 4 et 8 caractères. Ces 2 textes, *La sorcière* (texte 1) et *Le Vol* (texte
24 2), ont par ailleurs déjà été utilisés dans d'autres expérimentations (voir Sparrow et al., 2003
25 et Khelifi, 2013). La longueur des mots de haute et basse fréquence est identique pour chacun
26 des textes (U de Mann-Whitney, $z=-1.02$, $p=0.3$ pour le texte 1 et $z=0.15$, $p=0.88$ pour le texte
27 2). De même, la prédictibilité est la même pour les 2 groupes d'items cibles ($z=-0.64$, $p=0.52$
28 pour le texte 1 et $z=1.47$, $p=0.14$ pour le texte 2). En revanche, les 2 catégories d'items cibles
29 se distinguent bien en fréquence ($z=3.74$, $p=0$ pour les 2 textes). Pour chacun de ces textes, 5
30 questions à choix multiples (une proposition suivie de 4 items de réponse) ont été construites.
31 Le matériel utilisé est présenté en annexe.

32

1 <Insérez ici le tableau 1 >

2

3 Procédure

4 L'étude s'est déroulée en 2 temps : d'abord en consultation orthophonique où les enfants ont
5 été invités à lire à voix haute 2 textes ainsi que 2 listes de pseudomots par séance lors de 2
6 sessions séparées par une semaine. Pour chacune des sessions, les textes et les listes de
7 pseudomots présentés sont les mêmes. A la fin de la deuxième session, un questionnaire
8 portant sur leur préférence concernant les polices leur a été proposé. Ensuite, les enfants ont
9 été invités à se rendre sur le site du laboratoire où se situe le matériel permettant les mesures
10 oculométriques. Les déplacements oculaires ont été enregistrés à l'aide d'un Eyelink 1000
11 utilisé en mode « tête libre » afin que l'expérience soit la moins perturbante possible pour les
12 enfants. L'expérience est pilotée à l'aide du logiciel E-prime version 2.0 (Psychological
13 Software Tools, Pittsburgh), elle débute par une phase d'apprentissage constituée d'un court
14 texte suivi d'une série de 3 questions de compréhension. Chaque question se présente sous
15 forme d'une phrase suivie par 4 propositions. Chacune de ces propositions est identifiée à
16 l'aide d'un rond en couleur. L'enfant dispose pour sa réponse d'un boîtier comprenant 4
17 boutons reprenant les couleurs affichées devant chaque question. Il répond en appuyant sur
18 le bouton dont la couleur correspond à la proposition qu'il a choisie. Une fois la séance
19 d'apprentissage terminée et après avoir vérifié que les consignes ont bien été comprises,
20 l'expérimentateur déclenche alors la phase de calibration en 9 points qui précède la
21 présentation du premier texte expérimental. A la fin de la lecture, 5 questions portant sur le
22 texte sont présentées. Ensuite, une deuxième calibration est réalisée, puis le deuxième texte
23 expérimental est présenté et suivi par les 5 questions qui le concernent. L'expérience dure
24 environ 15 minutes.

25 L'ordre de présentation des textes est fixe (*La sorcière* en premier, *Le vol* en second) mais la
26 police utilisée est contrebalancée de telle sorte que chaque texte sera présenté en police
27 normale (Arial 14, police A) et en police adaptée (Dyslexie© 12, police D, dans les 2 cas,
28 interligne 21 pt) lorsque l'on considère l'ensemble des participants. Pour la moitié, le premier
29 texte sera présenté en police D et le second en police A, et inversement pour l'autre moitié.
30 Etant donné que la police Dyslexie © est plus espacée, la taille de la police normale est
31 légèrement plus grande (14 au lieu de 12) afin d'obtenir des affichages comparables pour les
32 2 textes.

1 Comme cela a été souligné par Pelli et al. (2006), la complexité périmétrique des polices de
2 caractère influence considérablement la lecture : les polices complexes, comme par exemple,
3 *la police Script*, est plus difficile à lire qu'une police plus simple, de type Arial. La complexité
4 périmétrique des polices D et A ont été calculées à l'aide de l'algorithme développé par Pelli
5 et al. (2006 , voir aussi Watson, 2012). Ces 2 polices sont de même complexité ($t(25)=1.60$,
6 $p>0.12$). A titre de contrôle, on constate aussi que la complexité périmétrique de la police
7 Script est supérieure à celle de la police D ($t(25)=6.19$, $p=0$).

8

9 Résultats

10 A- Lecture orale

11 Le type de police n'intervient pas sur la vitesse de lecture (mesurée en comptant le nombre
12 de mots lus sur une période donnée, $t(9)= 0.9$, $p=0.35$). En revanche, le nombre d'erreurs de
13 lecture est moins important avec la police D ($t(9)= 2.48$, $p =0.03$, voir tableau 2).

14

15 <Insérez ici le tableau 2>

16

17 Aucune différence statistiquement significative n'est constatée concernant les performances
18 obtenues à l'aide des 2 polices pour la lecture des listes de pseudomots (tableau 3).

19

20 <Insérez ici le tableau 3>

21

22 B- Lecture silencieuse

23 L'analyse des données oculométriques ne porte que sur 10 enregistrements. En effet, pour 2
24 participants, le pourcentage de temps passé à regarder le texte est inférieur à 70%. Un taux si
25 bas peut avoir pour origine soit un problème technique lié à une mauvaise acquisition du
26 signal, soit à un problème oculomoteur. Dans le doute, il convient de mettre à l'écart ces
27 données.

28

29 Les données oculomotrices s'analysent en distinguant 2 grandes catégories d'indicateurs
30 (Rayner, 1998) : les indicateurs temporels et les indicateurs spatiaux. Les premiers sont plutôt
31 liés aux processus d'accès lexicaux car ils sont très influencés par des facteurs bien connus
32 comme la fréquence ou la longueur des mots, depuis longtemps utilisés pour tester les

1 procédures d'accès au lexique. Les seconds concernent plutôt le contrôle des déplacements
2 oculomoteurs (lieu de fixation dans le mot, taille des saccades, taux de mots fixés).

3

4 <Insérez ici le tableau 4>

5

6 Concernant les indices temporels (tableau 4), les premières fixations ($t(9)=3.64$, $p<.003$) et les
7 durées de regard ($t(9)=3.28$, $p<.007$) sont plus courtes lorsque le texte est présenté en police
8 D. Il n'y a pas de différences concernant les fixations totales.

9 Chaque texte contient des mots cibles de haute et basse fréquence dont la longueur a été
10 contrôlée (voir tableau 1). L'analyse de l'effet de fréquence permet d'étudier les processus
11 d'accès lexicaux. En lecture de texte, un effet de fréquence est traditionnellement observé
12 pour la durée de regard et les fixations totales, les durées de première fixation sont en général
13 considérés comme des indicateurs plutôt en lien avec les processus sous-lexicaux (Reingold,
14 2003 ; Reingold & Rayner, 2006 ; Reichle, Warren & McConnel, 2009), donc moins sensibles à
15 des facteurs purement lexicaux comme la fréquence. Un effet de fréquence est observé sur
16 les durées de regard et les fixations totales pour les textes présentés en police D
17 (respectivement : $t(9)=2.29$, $p=0.05$ et $t(9)=2.45$, $p=0.04$, tableau 5). Pour la police A, un effet
18 émerge pour les fixations totales mais cet effet n'atteint pas la significativité ($p=0.08$).

19

20 <Insérez ici tableau 5>

21

22 <Insérez ici figure 1>

23

24 On constate (figure 1) que l'effet de fréquence s'accroît en fonction des indicateurs (DPF,
25 DR et FT) d'une façon plus prononcée avec la police D que la police A.

26

27 <Insérez ici tableau 6>

28

29 Le type de police n'a pas d'influence sur le taux de saut de mots ($p=0.29$, cf. tableau 6). En
30 revanche, on constate que le taux de régression est supérieur pour la police D ($t(11)= 2.27$,
31 $p=.04$). L'amplitude des saccades est aussi supérieure de 0.34° avec la police D ($t(9)=4.29$,
32 $p=0.002$) sans que cela ait de conséquence importante sur le lieu de fixation préféré : avec la

1 police D, la zone fixée lors de la première fixation est située à 45.58% et à 43.88% pour la
2 police de type A. Le point de fixation préféré est donc très légèrement décalé sur la gauche,
3 mais l'écart n'est pas significatif ($p=0.25$).

4
5 Enfin, la lecture des textes se concluait par un test de compréhension comportant 5 questions.
6 Le pourcentage de bonnes réponses obtenus pour le texte présenté en police D (60%) est
7 supérieur à celui obtenu pour la police A (48.33%, $t(11)=2.63$, $p=0.02$).

8
9 Au final, on constate qu'en lecture orale, le taux d'erreurs baisse de 40% avec la police D.
10 Parallèlement, les indicateurs oculomoteurs montrent que la lecture est plus fluide (durées de
11 fixations plus courtes, saccades plus amples) et que l'accès lexical est réalisé plus efficacement
12 (effet de fréquence observé avec la police D). Ces améliorations permettent une meilleure
13 compréhension du texte (le pourcentage de bonne réponse aux questionnaires augmente de
14 20% avec la police D).

15
16 DISCUSSION et CONCLUSION

17 Dans cette étude, les effets d'une police de caractère adapté sur les performances en lecture
18 à voix haute et silencieuse d'un groupe d'enfants dyslexiques sont explorés. En ce qui
19 concerne la lecture à voix haute, la police de caractère adaptée entraîne une diminution du
20 taux d'erreur. Lorsque la lecture est silencieuse, on observe d'importantes différences
21 concernant les paramètres oculomoteurs. Les durées de première fixation ainsi que les durées
22 de regard sont plus courtes lorsque le participant lit un texte présenté en police adaptée. Ces
23 indicateurs temporels sont en lien avec les processus d'accès lexical, qui semblent donc mieux
24 se réaliser (Rayner, 1998 ; Reingold, 2003 ; Reingold & Rayner, 2006 ; Reichle, Warren &
25 McConnel, 2009). Ce résultat est confirmé par les données concernant l'effet de la fréquence :
26 on observe un effet significatif de la fréquence sur la durée de regard lorsque le texte est écrit
27 en police D, et cet effet s'accroît encore pour les fixations totales, cette configuration n'est
28 pas obtenue lorsque le texte est présenté en police A. Il est cohérent que ces effets n'affectent
29 que les durées de regards et les fixations totales, et pas les durées de première fixation car
30 celle-ci sont en plutôt en relation avec les processus pré-lexicaux ou intra-lexicaux.

31 Comme les indices temporels, les indicateurs spatiaux sont aussi influencés par la police
32 adaptée. En particulier, on observe une augmentation de l'amplitude des saccades, ce qui

1 témoigne d'une plus grande facilité de lecture. En effet, lorsqu'un texte est difficile à lire
2 (Rayner, 1998), chez les enfants apprenant à lire (Khelifi, 2013) ou chez les mauvais lecteurs,
3 la taille des saccades est réduite. Or, dans notre situation, elle augmente, ce qui est compatible
4 avec l'hypothèse selon laquelle la police adaptée rend plus aisée la lecture, au moins pour les
5 dyslexiques. Cette observation objective confirme le propre ressenti des participants qui sont
6 plus de 70% à préférer la police adaptée.

7 En parallèle, la compréhension devient aussi plus efficiente : les résultats au test de
8 compréhension sont supérieurs pour le texte écrit avec la police D. Etant donné que l'accès
9 lexical est facilité, la charge cognitive induite est plus faible, ce qui rend plus de ressources
10 disponibles pour les processus post-lexicaux impliqués dans la compréhension. Comme
11 attention et saccades sont liés (Henderson, 1993), l'augmentation de la taille des saccades
12 pourrait effectivement permettre, dans la situation très particulière qu'est la lecture, un
13 meilleur contrôle attentionnel.

14

15 Cette étude a bénéficiée d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au
16 titre du programme « Investissements d'avenir » portant la référence ANR-11-EQPX-0023
17 (Equipex IrDIVE, Recherche et Innovation dans les Environnements Visuels Numériques et
18 Interactifs).

19 Les auteurs remercient Anne-Sophie Chastan & Amandine Gabant, orthophonistes, qui ont
20 rendu possible le travail de terrain sur lequel s'appuie cette étude.

21

REFERENCES

- Bernard, M. L., Chaparro, B. S., Mills, M. M., & Halcomb, C. G. (2002). Examining children's reading performance and preference for different computer-displayed text. *Behaviour & Information Technology, 21*(2), 87-96. doi:10.1080/01449290210146737
- Boden, C., & Giaschi, D. (2007). M-stream deficits and reading-related visual processes in developmental dyslexia. *Psychological Bulletin, 133*(2), 346-366. doi:10.1037/0033-2909.133.2.346
- Boer, C. T. (2009). Dyslexie Lettertype. Retrieved 20 September 2015 from <http://www.dyslexiefont.com/>
- Bucci, M. P., Brémond-Gignac, D., & Kapoula, Z. (2008). Latency of saccades and vergence eye movements in dyslexic children. *Experimental Brain Research, 188*(1), 1-12. doi:10.1007/s00221-008-1345-5
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review, 108*(1), 204-256. doi:10.1037/0033-295X.108.1.204
- Hawelka, S., Gagl, B., & Wimmer, H. (2010). A dual-route perspective on eye movements of dyslexic readers. *Cognition, 115*(3), 367-379. doi:10.1016/j.cognition.2009.11.004
- Henderson, J. M. (1993). Visual attention and saccadic eye movements. In *Annual Meeting of the Psychonomic Society, 31st, 1990, New Orleans, LA, US*. North-Holland/Elsevier Science Publishers.
- Hutzler, F., & Wimmer, H. (2004). Eye movements of dyslexic children when reading in a regular orthography. *Brain and Language, 89*(1), 235-242. doi:10.1016/S0093-934X(03)00401-2

- Khelifi, R. (2013). *Traitement de l'information latérale au cours de l'apprentissage de la lecture : études comparatives chez l'apprenti lecteur*. Thèse de doctorat, Université Lille 3. Consulté à l'adresse <http://www.theses.fr/2013LIL30034>
- Leeuw, R. de. (2010, décembre 21). Special font for dyslexia? Master's thesis, University of Twente. Consulté 30 décembre 2014, à l'adresse <http://essay.utwente.nl/60474/>
- Lockhead, G. R. & Crist, B. W. (1980). Making letters distinctive. *Journal of Educational Psychology*, 72(4), 483-493. doi:10.1037/0022-0663.72.4.483
- Mills, C. B. & Weldon, L. J. (1987). Reading text from computer screens. *ACM Computing Surveys*, 19(4), 329-358.
- O'Brien, B. A., Mansfield, J. S., & Legge, G. E. (2005). The effect of print size on reading speed in dyslexia. *Journal of Research in Reading*, 28(3), 332-349. doi:10.1111/j.1467-9817.2005.00273.x
- Peereman, R., Lété, B., & Sprenger-Charolles, L. (2007). Manulex-infra: Distributional characteristics of grapheme—phoneme mappings, and infralexical and lexical units in child-directed written material. *Behavior Research Methods*, 39(3), 579-589.
- Pelli, D. G., Burns, C. W., Farell, B., & Moore-Page, D. C. (2006). Feature detection and letter identification. *Vision Research*, 46(28), 4646-4674. doi:10.1016/j.visres.2006.04.023
- Pelli, D. G., Farell, B., & Moore, D. C. (2003). The remarkable inefficiency of word recognition. *Nature*, 423(6941), 752-756. doi:10.1038/nature01516
- Pennington, B. F. (2006). From single to multiple deficit models of developmental disorders. *Cognition*, 101(2), 385-413. doi:10.1016/j.cognition.2006.04.008
- Pollatsek, A., Reichle, E. D., & Rayner, K. (2006). Tests of the E-Z Reader model: Exploring the interface between cognition and eye-movement control. *Cognitive Psychology*, 52(1), 1-56. doi:10.1016/j.cogpsych.2005.06.001

- 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. doi:10.1093/brain/awg076
- Rayner, K. (1986). Eye movements and the perceptual span in beginning and skilled readers. *Journal of Experimental Child Psychology*, *41*(2), 211-236. doi:10.1016/0022-0965(86)90037-8
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, *124*(3), 372-422. doi:10.1037/0033-2909.124.3.372
- Reichle, E. D., Warren, T., & McConnell, K. (2009). Using E-Z reader to model the effects of higher level language processing on eye movements during reading. *Psychonomic Bulletin & Review*, *16*(1), 1-21. doi:10.3758/PBR.16.1.1
- Reingold, E. M. (2003). Eye-movement control in reading: Models and predictions. *Behavioral and Brain Sciences*, *26*(04), 500–501. doi:10.1017/S0140525X0346010X
- Reingold, E. M., & Rayner, K. (2006). Examining the Word Identification Stages Hypothesized by the E-Z Reader Model. *Psychological Science*, *17*(9), 742-746. doi:10.1111/j.1467-9280.2006.01775.x
- Rello, L., & Baeza-Yates, R. (2013). Good Fonts for Dyslexia. In *Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility* (p. 14:1–14:8). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/2513383.2513447
- Rello, L., Kanvinde, G., & Baeza-Yates, R. (2012). Layout Guidelines for Web Text and a Web Service to Improve Accessibility for Dyslexics. In *Proceedings of the International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility* (p. 36:1–36:9). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/2207016.2207048
- Rello, L., Pielot, M., Marcos, M.-C., & Carlini, R. (2013). Size Matters (Spacing Not): 18 Points for a Dyslexic-friendly Wikipedia. In *Proceedings of the 10th International Cross-Disciplinary*

Conference on Web Accessibility (p. 17:1–17:4). New York, NY, USA: ACM.

doi:10.1145/2461121.2461125

Sparrow, L. (2005). Etude des mouvements oculaires chez des sujets dyslexiques adultes. In Coello, Y., Casalis, S. & Moroni, C. (Eds). *Fonctionnement et dysfonctionnement perceptif et moteur*. Lille : Presses du Septentrion.

Sparrow, L., Miellet, S., & Coello, Y. (2003). The effects of frequency and predictability on eye fixations in reading: An evaluation of the E-Z Reader model. *Behavioral and Brain Sciences*, 26(04), 503–505. doi:10.1017/S0140525X03490109

Stein, J., & Walsh, V. (1997). To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neurosciences*, 20(4), 147-152. doi:10.1016/S0166-2236(96)01005-3

Vellutino, F. R., & Fletcher, J. M. (2005). Developmental Dyslexia. In M. J. Snowling & C. Hulme (Éd.), *The science of reading: A handbook* (p. 362-378). Malden: Blackwell Publishing.

Watson, A. (2012). Perimetric Complexity of Binary Digital Images. *The Mathematica Journal*, 14. doi:10.3888/tmj.14-5

Wilkins, A. J., Smith, J., Willison, C. K., Beare, T., Boyd, A., Hardy, G., Harper, S. (2007). Stripes within words affect reading. *Perception*, 36(12), 1788 – 1803. doi:10.1068/p5651

WHO (1992). World Health Organization. *International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems*. Tenth Revision. Geneva: author

Woods, R. J., Davis, K., & Scharff, L. F. V. (2005). Effects of typeface and font size on legibility for children. *American Journal of Psychological Research*, 1(1), 86-102.

Zorzi, M., Barbiero, C., Facoetti, A., Lonciari, I., Carrozzi, M., Montico, M., Ziegler, J. C. (2012). Extra-large letter spacing improves reading in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(28), 11455-11459. doi:10.1073/pnas.1205566109

1

	items de haute fréquence			items de basse fréquence		
	nb lettres	fréquence	prédictibilité	nb lettres	fréquence	prédictibilité
texte1	6,1	347,67	0,11	6,8	28,01	0,24
texte2	6,4	312,90	0,51	6,3	17,11	0,24

2

3 Tableau 1 : Caractéristiques des textes utilisés lors de l’enregistrement des mouvements
4 oculaires. La fréquence est exprimée en occurrences par million. La prédictibilité est une
5 probabilité (donc comprise entre 0 et 1)

6

7

	Nb mots	
	lus	erreurs
Police A	169,5	8,1
Police D	172,5	5,8

8 Tableau 2 : Effets du type de police sur le nombre de mots lus et le nombre d’erreurs. Le
9 nombre d’erreurs est moins important pour la police D, $p=0.03$)

10

11

	Temps (sec)	
	lus	erreurs
Police A	44	6,8
Police D	42,6	7

12 Tableau 3 : Effets du type de police sur la lecture de pseudomots. Aucune différence
13 statistiquement significative n’est constatée, tous les $p>.3$)

14

15

	DPF	DR	FT
Police A	499	675	880
Police D	429	600	875
écart A- D	70	76	5
proba	$p=.003$	$p=.007$	$p=0.43$

16 Tableau 4 : Durées (en ms) des premières fixations (DPF), durées de regard (DR), fixations
17 totales (FT).

18

19

20

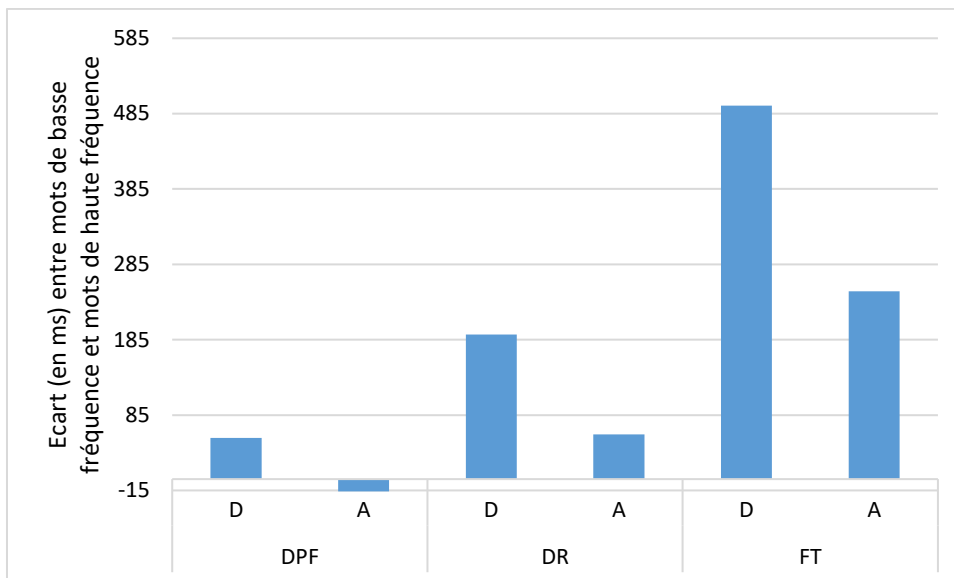
21

	DPF		DR		FT	
	D	A	D	A	D	A
effet	54,78	-16,34	191,90	59,38	495,45	249,31
valeur p	0,10	0,41	0,05	0,24	0,04	0,08

1 **Tableau 5** : Effets de la fréquence des mots (différence entre les durées de fixation des mots
2 fréquents et peu fréquents, en ms) pour les différents indicateurs temporels (Durée de
3 première fixation, Durée de regard et Fixations totales). Seuls les effets de fréquences pour
4 les DR et FT des textes lus avec la police D sont significatifs.

5
6

7 **Figure 1** : Evolution de l'effet de fréquence en fonction des différents indicateurs temporels
8 (DPF, DR, FT) et selon la police utilisée.



9
10
11

	Sauts	Régressions	amplitude	zone préférée
Police A	0,711	0,316	3,22	45,58
Police D	0,674	0,348	2,88	43,88
écart A- D	0,037	-0,032	0,340	1,700
proba	p=0.29	p=.04	p=0.002	p=0.25

12 **Tableau 6** : Principaux indicateurs spatiaux : taux de saut, taux de régressions, amplitude des
13 saccades (en degrés) et zone de fixation préférée dans le mot (en %).

14
15

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52

ANNEXE

Texte 1 : le vol

Un grand cheval avec une belle crinière blanche
avait pour ami un magnifique oiseau qui faisait
des tours de magie et portait autour du cou
un collier aux couleurs d'or et d'argent.

Les deux amis jouaient de la musique dans un
grand orchestre et faisaient de la danse
chaque jeudi. Lorsque le temps le permettait,
ils buvaient leur café sur la terrasse et
aimaient se raconter en détail les souvenirs
de leur enfance.

Un jour, par malheur, un voleur déroba
la cafetière des deux amis. Un policier
habile mena son enquête et finit par arrêter
rapidement le coupable dans le village voisin.

Caché dans une voiture sous un tissu épais,
l'objet volé fut retrouvé et le brigand qui avoua,
fut condamné à faire quelques jours de prison.

Texte 2 : la sorcière

Il était une fois une jeune fille qui
habitait une jolie petite maison blanchie
à la chaux. Malgré son caractère agréable
et les bonnes actions qu'elle s'employait à
réaliser chaque jour, son existence était
triste et morne. En effet,
elle était tellement hideuse, avec sa
tête de singe et son corps difforme, que ses
voisins la soupçonnaient d'être une sorcière. Elle
restait donc enfermée dans sa chambre. Lorsque la
faim la menait dehors en quête de nourriture et
que quelqu'un croisait son chemin, elle se mettait
à courir à en perdre haleine à travers
les champs. Elle avait conscience
d'être l'objet de la haine populaire et elle se
demandait quel serait son supplice. Elle ne
doutait pas que dès qu'ils trouveraient une corde
à leur goût,

ils lui passeraient un nœud autour du cou.

1

2 **Caractéristiques des mots cibles du texte 1 :**

F+	long.	Fréquence.	Prédictibilité.	F-	long.	Fréquence.	Prédictibilité.
jours	5	456,62	0,1	brigand	7	13,21	0
voiture	7	295,77	0,05	tissu	5	44,96	0
village	7	273,65	0,1	coupable	8	28,62	0,1
voleur	6	79,76	0	policier	8	15,1	0,1
café	4	119,96	0,05	enquête	7	38,39	0,65
temps	5	1276,78	0,05	détail	6	26,23	0
musique	7	175,1	0,3	danse	5	50,09	0,3
couleurs	8	134,52	0,25	orchestre	9	24,04	0,1
oiseau	6	307,73	0,15	magie	5	20,01	0,55
cheval	6	356,81	0,05	crinière	8	19,48	0,55
moyennes	6,1	347,67	0,11		6,8	28,013	0,235

3

4

5 **Caractéristiques des mots cibles du texte 2 :**

F+	long.	Fréquence.	Prédictibilité.	F-	long.	Fréquence.	Prédictibilité.
Fille	5	468,21	0,75	Chaux	5	0,51	0,8
Maison	6	780,00	0,95	Haleine	7	17,30	0,8
Corps	5	147,28	0,5	Nœud	5	12,38	0,5
champs	6	76,07	0,6	Caractère	9	53,10	0,05
Chemin	6	243,27	0,6	Actions	7	34,06	0
Nourriture	10	90,27	1	Morne	5	2,75	0,15
Sorcière	8	81,57	0,55	Hideuse	7	0,05	0
Chambre	7	233,70	0,05	Singe	5	40,88	0,05
Petite	6	832,17	0	Quête	5	8,51	0,05
Objet	5	176,44	0,05	Supplice	8	1,55	0
moyennes	6,4	312,90	0,505		6,3	17,11	0,24

6

7 La fréquence est exprimée en nombre d'occurrence par million. La prédictibilité est une probabilité

8 allant de 0 (mot pas du tout prédictible) à 1 (mot complètement prédictible)

9 F+ = groupe de mots à fréquence élevée et F- = groupe de mots à fréquence faible

10