

KOLINSKY, Régine; MORAIS, José; COHEN, Laurent; DEHAENE, Stanislas. As bases neurais da aprendizagem da leitura. *ReVEL*. vol. 17, n. 33, 2019. Tradução de Cassiano Ricardo Haag. [www.revel.inf.br]

AS BASES NEURAI DA APRENDIZAGEM DA LEITURA

*Les bases neurales de l'apprendissage de la lecture*¹

Régine Kolinsky²

José Morais³

Laurent Cohen⁴

Stanislas Dehaene⁵

kolinsky.regine@ulb.ac.be

jose.junca.de.morais@ulb.ac.be

laurentcohen2@gmail.com

stanislas.dehaene@gmail.com

RESUMO: Revisamos os dados que mostram que a aquisição da alfabetização (aprendizagem da leitura e da escrita) transforma profundamente os sistemas cerebrais de tratamento da linguagem e da informação visual. Discutimos o fato de que essa aquisição constitui um caso observável de plasticidade cortical, portanto de reciclagem neuronal, o que tem importantes implicações para educadores de crianças tanto normoleitoras quanto disléxicas, e a eventual redução dessa plasticidade com o avanço da idade. Com base nesses fatos, apresentamos também considerações éticas e sociopolíticas.

PALAVRAS-CHAVE: Alfabetização; analfabetismo; reciclagem neuronal.

RESUMÉ: Nous passons en revue les données montrant que l'acquisition de la littératie (apprentissage de la lecture et de l'écriture) transforme profondément les systèmes cérébraux de traitement du langage et de l'information visuelle. Nous discutons le fait que cette acquisition constitue un cas remarquable de plasticité corticale, donc de recyclage neuronal, ce qui a des implications importantes pour les éducateurs d'enfants normo-lecteurs et dyslexiques, et de l'éventuelle décroissance avec l'âge de cette plasticité. Fondés sur ces faits, nous présentons aussi des considérations éthiques et sociopolitiques.

MOTS-CLÉS: Littératie; illettrisme; recyclage neuronal.

ABSTRACT: We review the evidence showing that the acquisition of literacy (learning to read and write) transforms our brain in the processing systems of language and vision. We discuss the fact that

¹ Publicado originalmente em *Lingue Française*, 2018/3, n. 199, p. 17-33. Os autores e o responsável pela revista *Lingue Française*, professor Jacques Bres, gentilmente concederam à ReVEL a autorização para esta tradução.

² Universidade Livre de Bruxelas.

³ Universidade Livre de Bruxelas.

⁴ Institut du Cerveau et de la Moelle épinière (ICM); Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM-UMRS 975).

⁵ INSERM-CEA Cognitive Neuroimaging Unit (UNICOG).

literacy acquisition is a remarkable example of cortical plasticity, thus of neuronal recycling, with important implications for educators of both typically reading and dyslexic children, and the possible reduction with age of this plasticity. Based on these facts, we also present ethical and socio-political considerations.

KEYWORDS: Literacy; illiteracy; neural recycling.

1 INTRODUÇÃO

A invenção da escrita transformou profundamente a cultura humana ao longo da história, sobretudo porque a escrita fornece uma memória externa duradoura, favorecendo assim a emergência do pensamento e da abstração formal (ONG, 1982). No entanto, a escrita não teve apenas um papel histórico: ela nos modifica pessoalmente. Com efeito, essa invenção é recente demais (aproximadamente 5400 anos) para ter influenciado a evolução genética. Assim, a aprendizagem da escrita necessita de uma “reciclagem” de regiões cerebrais dedicadas a outras funções, mas muito plásticas para se reorientar pela identificação dos signos escritos e por sua relação com a linguagem falada (DEHAENE; COHEN, 2007).

Examinaremos as provas objetivas dessa profunda transformação de nosso cérebro, privilegiando os estudos que compararam adultos não alfabetizados por razões estritamente socioeconômicas a adultos alfabetizados, incluindo aqueles que se alfabetizaram somente depois de adultos, a quem chamaremos de ex-iletrados. Diferentemente da maior parte dos estudos que contrastam crianças pré-leitoras de idade pré-escolar a escolarizadas e letradas, essa comparação permite eliminar os efeitos da maturação cerebral e aqueles que refletem o impacto das aprendizagens formais realizadas na escola.

Esses dados mostram que a aprendizagem da leitura constitui um exemplo observável de plasticidade cortical, portanto, de reciclagem neuronal, e discutiremos não apenas suas implicações para professores de crianças tanto normoleitoras quanto disléxicas mas também um eventual decréscimo dessa plasticidade com o avanço da idade. Considerações éticas e sociopolíticas ligadas a esses fatos serão discutidas, também tendo em vista o nível muito baixo de alfabetização de adolescentes franceses escolarizados.

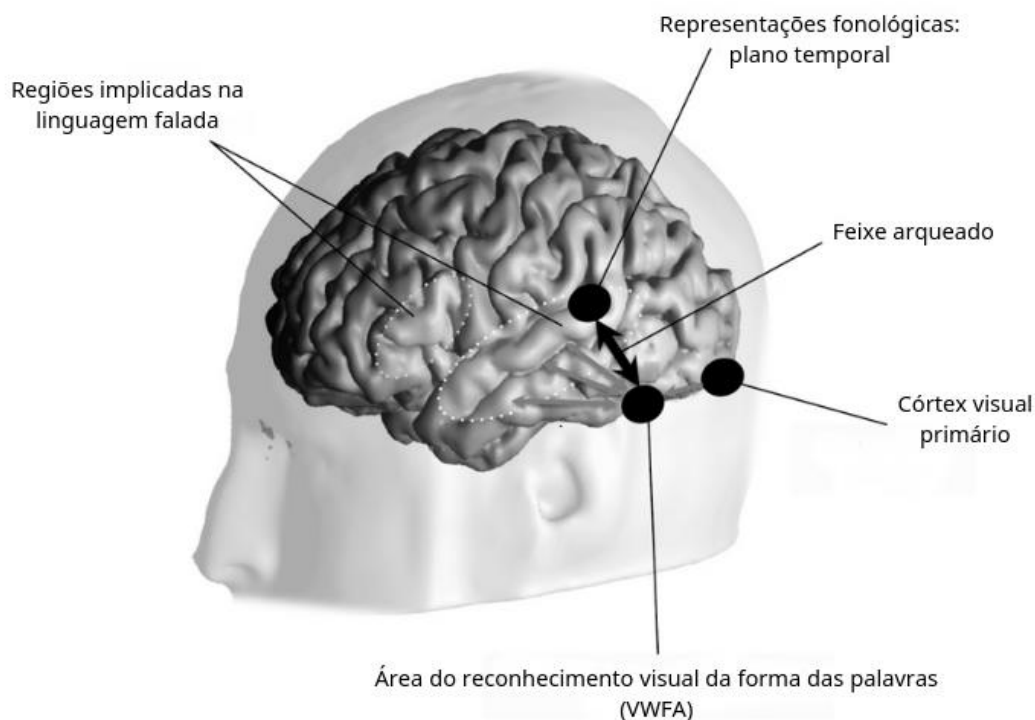
2 A APRENDIZAGEM DA LEITURA ESTIMULA E REORGANIZA O SISTEMA VISUAL

O reconhecimento visual de letras e sequências de letras é realizado por uma rede de neurônios específica conhecida atualmente como *área do reconhecimento visual da forma das palavras*, em inglês VWFA (COHEN et al., 2000). O neurologista francês J. Déjerine (1892) sugeriu que uma área cerebral deveria ser especializada no tratamento visual da linguagem escrita. Ele observou que um de seus pacientes, afetado por uma lesão na parte posterior do sistema visual do hemisfério esquerdo, não era mais capaz de ler embora a visão e a capacidade de escrita estivessem preservadas. Recentemente, a base cerebral desse distúrbio, conhecido como alexia sem agrafia, foi estudada mais detalhadamente graças à imagem cerebral (COHEN et al., 2003) bem como ao registro intracraniano das respostas eletrofisiológicas do cérebro (GAILLARD et al., 2006). A região cuja lesão é responsável pela alexia sem agrafia, e que, portanto, subjaz à habilidade da leitura, encontra-se no giro fusiforme do córtex occipitotemporal inferior (ventral) esquerdo (Figura 1). Sua ativação em resposta à escrita já foi observada em participantes saudáveis graças a estudos eletrofisiológicos (NOBRE; ALLISON; MCCARTHY, 1994) e de imagem cerebral por tomografia por emissão de posições (PETERSEN et al., 1988) ou por ressonância magnética funcional (IRMf; COHEN et al., 2000).

Essa área é muito mais mobilizada pela palavra escrita do que pela pronunciada oralmente (DEHAENE et al., 2002) ou por outras categorias de estímulos visuais como rostos ou objetos (PUCE et al., 1996). Além disso, ela responde mais às palavras e pseudopalavras pronunciáveis do que às sequências de consoantes (COHEN et al., 2002). Algumas dessas propriedades funcionais são importantes para a leitura, como a invariância de posição espacial (COHEN et al., 2002) e de quebra (DEHAENE et al., 2001) assim como a codificação da ordem das letras (DEHAENE et al., 2004). Essas propriedades de codificação de nível relativamente abstrato emergem progressivamente na VWFA segundo um gradiente de sensibilidade que vai das letras (parte posterior) às palavras ou estímulos similares (parte anterior), passando pelos grupos de letras como os bigramas (DEHAENE et al., 2004; VINCKIER et al., 2007). A implicação da VWFA no reconhecimento da escrita se encontra em todos os sistemas de escrita, alfabéticos ou não (BOLGER; PERFETTI; SCHNEIDER, 2005), em todos os leitores, tanto crianças quanto adultos (HOUDÉ et al., 2010). A VWFA é ativada

mesmo em cegos congênitos que utilizam um sistema de substituição tátil (braile; REICH et al., 2011) ou sonora (STRIEM-AMIT et al., 2012).

FIGURA 1: A ativação das regiões representadas aqui em preto (a área do reconhecimento visual da forma das palavras ou VWFA, o córtex visual – incluído o córtex visual primário – e o plano temporal) é modificada pela aquisição da alfabetização. Algumas conexões entre essas regiões (indicadas pelas setas) podem ser reforçadas, como no caso da parte posterior do feixe arqueado (representado aqui por uma seta preta e mais grossa).



A funcionalidade da VWFA não é inata, não se desenvolve espontaneamente com a idade, nem com a exposição passiva a um mundo letrado. É a aprendizagem da leitura que amplifica as respostas corticais à escrita e aumenta sua seletividade, como demonstrado por estudos longitudinais do processo de aquisição da leitura por crianças (BEN-SHACHAR et al., 2011; SAYGIN et al., 2016) ou adultos (um caso único, BRAGA et al., 2017). Em crianças de 5 anos, essa região mostra uma seletividade de resposta para letras somente se elas já aprenderam a ler (SAYGIN et al., 2016). Do mesmo modo, as respostas aos caracteres do hebraico são bem mais fortes em quem lê hebraico (seja sua língua materna ou não) do que em anglófonos que não conhecem esse idioma (BAKER et al., 2007). E se o cérebro de adultos francófonos que não leem mandarim se ativa pela apresentação de ideogramas chineses, essa ativação é bilateral

e inclui a região occipital lateral do hemisfério direito (SZWED et al., 2014) implicada no reconhecimento dos objetos. Os estudos eletrofisiológicos vão no mesmo sentido: a lateralização esquerda do componente N170 gerado pelo córtex occipitotemporal (que inclui a VWFA) é observada por caracteres japoneses somente em leitores do japonês (MAURER; ZEVIN; MCCANDLISS, 2008). Portanto, a funcionalidade da VWFA, incluindo sua seletividade e sua lateralização esquerda, depende da experiência adquirida em um sistema de escrita.

Embora a experiência com a escrita seja essencial, ela não deve ser forçada para acionar a funcionalidade da VWFA. Algumas semanas de treinamento de pré-leitores de 6 anos de idade sobre a correspondência entre grafemas (letra ou grupo de letras) e fonemas bastam, mesmo se eles decodificam apenas 30% de palavras curtas e frequentes (BREM et al., 2010). Portanto, o início da funcionalidade da VWFA coincide com a aquisição das correspondências grafema-fonema (CGFs), o que ilustra bem que um nível de alfabetização rudimentar é suficiente para estimulá-la. Da mesma forma, em adultos que já dominam um primeiro script, basta um breve treinamento intensivo sobre o reconhecimento dos caracteres de um novo script (artificial ou desconhecido) para ativar a VWFA (MEI et al., 2013; YONCHEVA et al., 2010).

Em leitores de dado script, o nível de ativação e a lateralização esquerda da resposta cerebral às sequências escritas dependem do nível de competência de leitura. Assim, leitores aprendizes mostram diferentes graus de ativação e de lateralização esquerda mais baixos que leitores habilidosos. É o caso tanto em crianças (BREM et al., 2010; SHAYWITZ et al., 2002) quanto em adultos que aprenderam a ler tardiamente, cujo nível de leitura geralmente permanece muito baixo. Estudando adultos não alfabetizados, ex-iletrados e letrados durante a infância, observamos uma correlação positiva entre a ativação cerebral (IRMf) e a velocidade de leitura: a aprendizagem da leitura aumenta linearmente as respostas da VWFA a palavras, pseudopalavras e frases escritas (DEHAENE et al., 2010b). Nos mesmos participantes, a lateralização esquerda da N170 evocada pela escrita também está correlacionada positivamente com a velocidade de leitura (PEGADO et al., 2014). Esses resultados mostram que o aumento da força e da lateralização das respostas da VWFA é mais ligado ao nível de leitura do que à idade ou à exposição passiva à escrita. Eles confirmam também que a aprendizagem da leitura implica um processo de poda seletiva. Inicialmente, as palavras escritas são tratadas tanto na VWFA quanto na área homóloga do hemisfério direito. Com a aprendizagem, a ativação dessa última diminui

(TURKELTAUB et al., 2003). A rede cerebral mobilizada pela leitura é, portanto, mais ampla em leitores iniciantes do que em leitores experientes.

Além disso, em leitores iniciantes, a leitura recruta menos regiões frontoparietais (BRAGA et al., 2017; DEHAENE et al., 2010b) implicadas na atenção seletiva e no controle do comportamento (as subjacentes às funções ditas “executivas”). Esse padrão de ativação é apresentado também por adultos bons leitores que se esforçam para ler palavras degradadas (COHEN et al., 2008) ou pseudopalavras (BINDER et al., 2005). Isso acompanha um forte efeito de comprimento: quanto mais letras a sequência contém, mais difícil é para identificar (COHEN et al., 2008), o que reflete uma leitura sequencial, lenta e atenta, por decodificação grafofonêmica. Em situação normal, leitores habilidosos apresentam um efeito de comprimento fortemente atenuado em relação aos leitores aprendizes (SAMUELS; LABERGE; BREMER, 1978; ZOCCOLOTTI et al., 2005), e a ativação da VWFA um pouco mais anterior observada neles (PINEL et al., 2015) sugere também uma extração de unidades ortográficas mais amplas que a letra.

A consequência principal da aprendizagem da leitura no nível cerebral é a emergência, em uma sub-região do córtex occipitotemporal ventral esquerda, de uma área subjacente às habilidades para reconhecer os caracteres escritos e suas combinações. A atividade neural evocada por palavras escritas aumenta, tornando-se seletiva, e converge sobre a rede de leitura observada no leitor habilidoso. Entretanto, neste, os processos de leitura podem variar em função do material, uma vez que algumas palavras têm uma grafia tão excepcional (por exemplo, “femme”, “monsieur”)⁶ que não podem ser lidas a partir das mesmas regras de conversão grafema-fonema. Assim, sua leitura, como a das palavras frequentes, implica mais um caminho “ventral” ou “semântico” do que, partindo do córtex visual primário passando pela VWFA, faz intervir o giro temporal médio e a região temporal basal assim como a parte triangular do giro frontal inferior, enquanto que a leitura de palavras de baixa frequência e pseudopalavras exige recorrer à decodificação e, portanto, repousa mais sobre um caminho dito “dorsal”, que faz intervir as áreas temporais superiores, o giro supramarginal e a parte opercular do giro frontal inferior (JOBARD; CRIVELLO; TZOURIO-MAZOYER, 2003).

⁶ Neste caso, em *femme*, o primeiro “e” é pronunciado com um a nasal, além de o segundo não ser pronunciado e a letra “m” estar duplicada (no final, a pronúncia fica algo como “fãm”). Em *monsieur*, a pronúncia é algo como “messiê”.

A aprendizagem da escrita induz também mudanças qualitativas no tratamento visual das letras e sequências de letras. As letras se apresentam em sequências densas, o que necessita de um tratamento mais focado que outros símbolos e, portanto, requer limitar a integração de características inapropriadas de estímulos vizinhos (FERNANDES et al., 2014; GRAINGER; TYDGAT; ISSELÉ, 2010). Além disso, a aquisição da leitura aumenta a sensibilidade do córtex visual occipital (incluído o primário; cf. Figura 1) e occipitotemporal para as diferenças finas entre sequências de letras e mesmo entre objetos não linguísticos (DEHAENE et al., 2010a; PEGADO et al., 2014).

Enfim, a aquisição da escrita aumenta a sensibilidade do córtex occipitotemporal às diferenças de orientação espelhada (PEGADO et al., 2014). Essa mudança se choca com o princípio de “invariância espelhada” típica do sistema de reconhecimento de objetos: a orientação lateral (esquerda-direita) não é um critério pertinente para a identificação da maior parte dos seres vivos e dos objetos, cujos perfis direito e esquerdo são imagens espelhadas. Em contrapartida, para distinguir ‘b’ de ‘d’ e ‘bom’ de ‘dom’, é necessário “desaprender” ou inibir a generalização espelhada (BORST et al., 2015; DEHAENE et al., 2010a). É o que fazem os leitores de scripts que incluem letras espelhadas, como o alfabeto latino, mas não fazem as crianças pré-leitoras (FERNANDES; LEITE; KOLINSKY, 2016), nem os adultos não alfabetizados (KOLINSKY et al., 2011), nem os alfabetizados em um script que não tem caracteres espelhados (PEDERSON, 2003). Esses últimos, como os pré-leitores e os não alfabetizados, têm muita dificuldade para discriminar imagens espelhadas. Em leitores de numerosos scripts que contêm imagens espelhadas, a capacidade para discriminá-las não é limitada às letras: ela se generaliza parcialmente para outras categorias visuais (incluindo objetos usuais; FERNANDES; KOLINSKY, 2013) e torna-se tão automático que interfere na capacidade de discriminar os objetos com base em sua identidade, i.e. independentemente de sua orientação (FERNANDES; LEITE; KOLINSKY, 2016; KOLINSKY; FERNANDES, 2014; PEGADO; NAKAMURA; HANNAGAN, 2014). Essa competição entre antigos processos válidos no ambiente natural e aqueles requeridos pela leitura de scripts que comportam imagens espelhadas ocorre em parte no seio da VWFA (mas, para mais detalhes, ver NAKAMURA; MAKUUCHI; NAKAJIMA, 2014; PEGADO; NAKAMURA; HANNAGAN, 2014). Com efeito, uma forte diminuição de sua ativação é observada durante a apresentação repetida de uma imagem, bem como quando o segundo estímulo é idêntico ao

primeiro, como quando ele é sua imagem no espelho. No leitor hábil, isso se observa por estímulos não linguísticos, mas não pelas palavras escritas (DEHAENE et al., 2010a) ou pelas letras (PEGADO et al., 2011).

A competição entre a leitura e outras funções mais antigas é, na verdade, mais geral. Como a VWFA faz parte da via ventral de reconhecimento dos objetos, sua emergência funcional implica uma reorganização das preferências de resposta às outras categorias visuais, principalmente aos rostos. Assim, nos leitores, o tratamento dos rostos repousa menos sobre o giro fusiforme esquerdo (BRAGA et al., 2017; DEHAENE et al., 2010b) e mais sobre a área homóloga do hemisfério direito (DEHAENE et al., 2010b). Essa reorganização não parece induzir “corte” cognitivo, mas permite, ao contrário, adaptar melhor a atenção de maneira flexível às necessidades da tarefa (VENTURA et al., 2013).

Ao longo da aquisição da alfabetização, a VWFA adquire, portanto, uma funcionalidade, uma especificidade e novas propriedades (como a não variância espelhada para a escrita), distintas das áreas vizinhas. Sua especialização leva a uma diminuição de sua conectividade funcional com outras áreas de alto nível da rede visual (LÓPEZ-BARROSO et al., em revisão).

3 A APRENDIZAGEM DA LEITURA MODIFICA O TRATAMENTO, AS REPRESENTAÇÕES E A MEMORIZAÇÃO DA LINGUAGEM FALADA

Nos leitores, mas não nos adultos não alfabetizados, até a forma escrita de uma frase ativa o conjunto das áreas da linguagem falada, à exceção do córtex auditivo primário e seus arredores. Essas ativações, na maior parte das regiões, atingem uma intensidade equivalente à evocada pela linguagem falada, levando assim a uma recuperação importante das regiões cerebrais ativadas simultaneamente pela escrita e pela fala (DEHAENE et al., 2010b). Essa recuperação espetacular não surpreende, porque o objeto da leitura é justamente restituir a linguagem falada a partir da visão, oferecendo-nos assim uma memória externa durável.

É bem mais surpreendente constatar em que ponto a alfabetização modula o tratamento e as representações da linguagem falada. Desde o final dos anos 1970, compreende-se que a alfabetização e a tomada de consciência dos fonemas se desenvolvem em interação (cf. discussão em MORAIS; ALEGRIA; CONTENT, 1987). Os pesquisadores se interessaram sobretudo pelo papel da consciência fonêmica na

aquisição da leitura (PIQUARD-KIPFFER; SPRENGER-CHAROLLES, 2013). No entanto, a consciência fonêmica somente se desenvolve fortemente em pessoas que aprenderam a ler pelo sistema alfabético. A maior parte dos pré-leitores (LIBERMAN et al., 1974) e dos adultos não alfabetizados (*totalmente* iletrados – MORAIS et al., 1979 – ou letrados em um sistema não alfabético – READ et al., 1986) apresentam muitas dificuldades para efetuar jogos de linguagem como contar fonemas (4 em “bola”, assim como em “chale”) ou suprimir o primeiro fonema de uma palavra (“bola” se tornando “ola” e “chale”, “ale”)⁷. Desde então, os trabalhos de imagem funcional mostraram que o letramento modifica também a rede cerebral da linguagem falada de três outras formas.

O letramento leva a integrar outras áreas cerebrais à rede da linguagem falada, permitindo interações bidirecionais entre linguagem falada e escrita. O tratamento da linguagem falada é modificado. Com efeito, em adultos alfabetizados (mas não em não alfabetizados; DEHAENE et al., 2010b) e em crianças após 3 anos de aprendizagem da leitura (MONZALVO; DEHAENE-LAMBERTZ, 2013), a escuta de palavras faladas ativa a VWFA, refletindo a ativação de representações ortográficas pelas palavras faladas. Muitos estudos comportamentais mostraram que, ao nos tornarmos capazes de ler, não tratamos mais as palavras sem sermos influenciados pelas representações escritas correspondentes. Assim, em uma situação puramente auditiva, os participantes (alfabetizados) julgam mais rapidamente que duas palavras rimam quando sua rima ortográfica é idêntica (por exemplo, prato-rato) do que quando ela difere (família-quadrilha; SEIDENBERG; TANENHAUS, 1979)⁸. As representações mentais da ortografia influenciam até mesmo os processos de reconhecimento *on-line* das palavras faladas. Quando têm de decidir o mais rapidamente possível se sequências faladas são palavras ou não, os auditores são mais rápidos para palavras consistentes do ponto de vista fonografêmico, como “garagem”⁹ (cuja rima se escreve somente de uma forma) do que para palavras inconsistentes, como “tonel”¹⁰ (cuja rima se pode escrever de outra forma, como em “troféu”, ZIEGLER; FERRAND, 1998). Adultos alfabetizados também recorreram a seus conhecimentos ortográficos quando a memorização de informações fonológicas causava confusão. Assim, eles não retêm tão bem uma lista de palavras faladas quando elas rimam entre si (por exemplo, “taça”,

⁷ N. de T.: No original, os autores mencionam 3 fonemas em “bol”, assim como em “jour”.

⁸ N. de T.: No original, *blanc-flanc* e *blanc-cran*, respectivamente.

⁹ N. de T.: No original, o exemplo é “biche”.

¹⁰ N. de T.: No original, o exemplo é “caisse” e “messe”, respectivamente.

“raça”, “laça”, “traça” etc.)¹¹ em relação a quando elas não rimam. Esse efeito deletério da similaridade fonológica inter-item é reduzido quando as rimas não são todas grafadas igualmente, como em “massa, nasça, raça etc.”¹² (PATTAMADILOK et al., 2010).

A alfabetização conduz também a um aumento das respostas à linguagem falada nas regiões temporais superiores esquerdas implicadas na análise fonológica. Particularmente, o plano temporal (Figura 1), que desempenha um papel crucial na codificação perceptiva dos fonemas (por exemplo, MESGARANI et al., 2014) se ativa duas vezes mais em adultos alfabetizados em relação aos não alfabetizados (DEHAENE et al., 2010b). Nas crianças, esse efeito se instala após alguns meses de aprendizagem da leitura (MONZALVO; DEHAENE-LAMBERTZ, 2013). Os estudos comportamentais sugerem que ele refletiria uma mudança em um ou em vários tipos de representações fonológicas. Mesmo que os não alfabetizados possuam uma fonologia implícita (conseguem discriminar sílabas como /pa/ e /ba/; ver SCLIAR-CABRAL et al., 1997), eles não percebem tão nitidamente quanto os letrados a transição entre fonemas em um *continuum* acústico, o que sugere que as fronteiras entre fonemas são menos precisas (SERNICLAES et al., 2005). Além disso, mesmo que o plano temporal não responda às palavras escritas (DEHAENE et al., 2010b) nem às letras isoladas (VAN ATTENVELT et al., 2004) nos leitores, sua ativação é reforçada quando uma letra congruente está presente simultaneamente em um fonema (ver VAN ATTENVELT et al., 2004). Portanto, sua ativação é modulada por retroação de regiões multimodais (sulco e giro temporal superior) que participam da integração audiovisual das letras e fonemas.

Enfim, essas mudanças funcionais são acompanhadas de mudanças anatômicas, sobretudo de conectividade, que é reforçada nos níveis intra- e inter-hemisféricos. Assim, o feixe arqueado (Figura 1) muda em função da competência de leitura, nas crianças (ver YEATMAN et al., 2012) e nos adultos (THIEBAUT DE SCHOTTEN et al., 2014). Esse conjunto de axônios religa a VWFA ao plano temporal e poderia participar do percurso de leitura baseada na conversão grafema-fonema, que está no coração da alfabetização, em razão de ser crucial pela constituição de representações ortográficas (SHARE, 1995). Nos adultos, a força da conectividade

¹¹ N. de T.: Os exemplos trazidos no original são “passe, chasse, classe, masse etc.”.

¹² N. de T.: Os exemplos dos autores são “nord, corps, sport, flore etc.”, cujas terminações, no francês, pronunciam-se algo como “ór”.

funcional entre a VWFA e a rede dorsal da linguagem (incluindo áreas parietais e dorsais – aí compreendida a área de Broca) aumenta também com a alfabetização (LOPEZ-BARROSO et al., em revisão). A conectividade inter-hemisférica (corpos calosos) e a densidade de matéria cinzenta nas diversas regiões implicadas na leitura são também reforçadas pela aquisição da escrita (CARREIRAS et al., 2009; CASTRO-CALDAS et al., 1999; PETERSSON et al., 2007).

4 TANTO O SUCESSO DA APRENDIZAGEM DA LEITURA QUANTO AS MODIFICAÇÕES CEREBRAIS ASSOCIADAS DEPENDEM DO MÉTODO DE ENSINO

Muitos estudos de psicolinguística experimental compararam a eficácia dos métodos de alfabetização da criança. Seus dados são coerentes com aqueles provenientes de estudos em larga escala (por exemplo, nos EUA, os do Painel Nacional da Leitura 2000 e do Conselho Nacional de Pesquisa, ver SNOW; BURNS; GRIFFIN, 1998; na França, ver o relatório do Observatório Nacional da Leitura, ONL, 1998, e MORAIS, 2016) e mostram que a instrução explícita das CGPs (método fônico) leva a melhores resultados em leitura, permitindo formar rapidamente leitores autônomos, ou seja, capazes de decodificar palavras completamente desconhecidas (ver EHRI et al., 2001).

O método fônico acentua a compreensão do princípio alfabético (a intuição do fato de que os grafemas correspondem a fonemas) e a dominância do código ortográfico, cuja dificuldade varia muito porque os códigos apresentam regras diversas de inconsistência, em razão da própria economia dos scripts alfabéticos (um pequeno número de símbolos permite escrever um número indefinidamente elevado de palavras) e de fatores históricos, aí compreendidos os empréstimos de outras línguas. Em francês, o mesmo grafema é utilizado para representar diferentes fonemas em palavras diferentes (“ch” em *chœur* X em *chat*) e, inversamente, o mesmo fonema é escrito diferentemente em palavras diferentes (/ʃ/ em *rond*, *long*, *ton*). Os estudantes devem dominar o código ortográfico de sua língua quando começam a decodificar (na leitura) e recodificar (na escrita). Por isso, é fundamental ensinar sistematicamente todas as GPC maiúsculas (EHRI et al., 2001).

Parece ocorrer o mesmo nos adultos. Vários estudos sobre a aprendizagem de um script artificial compararam um método (fônico) lançando a atenção dos alunos para as associações entre CGPs do novo script a um método (global) que insistia na

memorização da palavra inteira. Todos relataram uma grande eficácia do método fônico (ver BISHOP, 1964; BITAN et al., 2005; YONCHEVA et al., 2010). Assim, no estudo de Y. N. Yoncheva et al. (2010), enquanto a aprendizagem global levava a um melhor reconhecimento das palavras aprendidas durante o treinamento, apenas os aprendentes do método fônico se tornaram capazes de decodificar palavras novas, formadas com caracteres aprendidos do script. Somente eles, portanto, tinham desenvolvido uma leitura autônoma. Temos poucas indicações sobre a aprendizagem da leitura por adultos totalmente analfabetos, mas tanto a observação de um caso único (BRAGA et al., 2017) quanto um estudo de instrução do código alfabético induzido sobre oito adultos no início totalmente analfabetos (KOLINSKY et al., 2018) sugerem que são iguais.

Essa diferença de performance em função dos métodos está associada a diferenças cerebrais. Yoncheva et al. (2010) constataram que, durante a leitura, o componente N170 era lateralizado no hemisfério esquerdo pelo grupo fônico, mas no hemisfério direito pelo grupo que fez associações com as palavras inteiras. Outros estudos confirmaram, via IRMf, uma ativação mais lateralizada à esquerda em resposta às palavras após uma aprendizagem fônica em relação à logográfica (MEI et al., 2013) ou à alfassilábica (HIRSHORN et al., 2016). O conjunto dos resultados mostra que a atenção seletiva às CGPs durante a aprendizagem estimula a lateralização dos circuitos neuronais que subjazem o reconhecimento das palavras escritas e ajuda os aprendentes a se tornarem rapidamente em leitores autônomos. Por outro lado, um treinamento para reconhecer as palavras por sua forma global está associado a uma atividade cerebral mais pronunciada no hemisfério direito e mobiliza um circuito que parece inapropriado, pois sua implicação, majoritariamente presente em todo o início da aprendizagem, diminui quando este progride (ver BRAGA et al., 2017; DEHAENE et al., 2010b).

Esses dados são ainda mais importantes, pois a vantagem da instrução fônica é particularmente acentuada em crianças de contextos desfavorecidos. Isso foi sugerido por uma meta-análise sobre a aprendizagem do inglês (EHRI et al., 2001) e, na França, por uma enquete conduzida com centenas de estudantes do primeiro ano (CP). Deauvieau, Reichstadt e Terrail (2015) compararam quatro métodos de ensino diferentes, dos quais dois eram de tipo fônico. A vantagem dos métodos fônicos, na leitura de palavras, na compreensão da leitura, na ortografia e na produção escrita, foi significativamente maior para os filhos de pais menos escolarizados. Em média,

quando nenhum dos pais tinha o ensino médio, o método que levou aos piores resultados na leitura-escrita foi o mais global: 36,4% contra 62,6% para o mais fônico. Para as crianças cujos pais, pelo menos um tinha o ensino médio, os escores foram 56,1% e 68,6% respectivamente. A diferença entre os dois contextos, de aproximadamente 20% com o método global, foi reduzido a 6% com o método fônico. Nos dois casos, o método fônico foi o melhor. Em relação ao método global, ele representava um ganho de aproximadamente 26%, se o nível de escolaridade parental fosse baixo, e ainda permitia um ganho de mais de 12% se fosse mais elevado.

5 IMPLICAÇÕES PARA EDUCADORES E CLÍNICOS

Começamos a compreender melhor os processos e as redes cerebrais modificadas pela alfabetização, o que nos permite refletir no sentido de otimizar a aquisição da leitura, em especial, para as pessoas desfavorecidas do ponto de vista sociocultural e/ou com dificuldades de aprendizagem. Os dados que apresentamos sobre os métodos de aprendizagem da leitura são bastante claros sobre esse ponto: quaisquer que sejam as razões sócio-históricas da manutenção do método global em inúmeros países (para uma discussão, ver MORAIS, no prelo), é inegável que ele acentua o fosso em relação à alfabetização entre os aprendentes provenientes de um contexto sociocultural desfavorecido e aqueles provenientes de contextos mais privilegiados. Além disso, o método fônico é mais eficaz para todos, qualquer que seja o meio de origem, devendo, portanto, ser preferido. Entretanto, falta especificar inúmeros detalhes, sobretudo qual seria a ordem ideal pela qual introduzir os diversos CGPs para um código dado. Diversos princípios gerais podem ser enunciados (por exemplo, começar a aprendizagem pelos grafemas simples e consistentes, evitar os pares de letras espelhadas no início da aprendizagem; KOLINSKY et al., 2018), mas seus pesos relativos permanecem incertos. Ainda, se neste trabalho nos concentramos na leitura, a aprendizagem da escrita também é crucial, pois parece reforçar a da leitura nas crianças (JAMES, 2010) e nos adultos (ver LONGCAMP et al., 2008).

Além disso, os raros dados sobre a aprendizagem da leitura por adultos totalmente analfabetos sugerem que é possível aprender a ler mesmo em uma idade madura: o caso único reportado por BRAGA et al. (2017) tinha 45 anos no início da aprendizagem, e ao menos um dos aprendizes de Kolinsky et al. (2018) tinha 55 anos. Como o analfabetismo adulto frequentemente condena à pobreza, à saúde precária e à

exclusão social, não apenas os adultos iletrados mas também seus filhos (ver POST, 2016), é importante adaptar os métodos de alfabetização a essas pessoas.

Os dados discutidos aqui podem também nos ajudar a identificar melhor a patogênese da dislexia de desenvolvimento, um distúrbio específico da aquisição da leitura. De fato, inúmeras explicações causais foram propostas para ela sobre a base das diferenças comportamentais e/ou cerebrais constatadas nos indivíduos adultos afetados. Todavia, essas diferenças poderiam não estar ligadas a causas da dislexia, mas serem consequências secundárias de uma experiência de leitura reduzida ou suboptimal (conforme discussões em GOSWAMI, 2015; HUETTIG et al., 2018). Com efeito, algumas dessas diferenças são observadas em adultos que permaneceram não alfabetizados por razões estritamente socioeconômicas, bem como em crianças pré-leitoras. Por exemplo, o fato de que os disléxicos apresentam uma ativação reduzida do plano temporal em resposta à fala foi interpretado como uma causa proximal de seu déficit de leitura (BLAU et al., 2010). Entretanto, a observação de uma redução similar em adultos não alfabetizados (DEHAENE et al., 2010b) e em crianças pré-leitoras (MONZALVO; DEHAENE-LAMBERTZ, 2013) sugere que o baixo nível de leitura é a causa real dessa característica.

Para além desse problema do ovo ou da galinha, devemos ter cuidado para não cair na armadilha que consistiria em considerar os correlatos neuronais da aprendizagem da leitura como fatores que favorecem essa aprendizagem. Por exemplo, se é verdade que uma aprendizagem bem-sucedida leva a uma lateralização esquerda das respostas cerebrais à escrita, não há nada garantido (e parece mesmo pouco provável, embora isso deva ser estudado) que seja útil “empurrar” essa lateralização por outros meios que não a própria aprendizagem intensiva da escrita.

6 CONSIDERAÇÕES ÉTICAS E SOCIOPOLÍTICAS

Se se considera que a alfabetização de base consiste na utilização regular da habilidade para ler e escrever palavras de forma automática (e não somente via decodificação), são múltiplas as razões para reconhecê-la como parte dos direitos de todo ser humano na sociedade contemporânea. Dada sua influência sobre muitas funções cognitivas, compreendidas aí o pensamento, a memória, a capacidade de raciocínio, de crítica e de argumentação, ela assegura a aquisição, a avaliação e a criação de conhecimentos assim como sua comunicação; enquanto instrumento

narrativo, é um veículo cultural, existencial e estético insubstituível; enquanto fator de coesão social, é indispensável ao funcionamento democrático das comunidades. Além disso, as profundas desigualdades atuais na alfabetização são não apenas causa quanto consequência das enormes desigualdades entre os indivíduos e entre as classes e as nações, em termos de recursos materiais, saúde, condições e qualidade de vida.

Evoca-se atualmente em diversos países a possibilidade de estabelecer um fundo universal de base para amenizar os efeitos nefastos do sistema socioeconômico e financeiro. Não nos pronunciaremos sobre essa questão, a qual escapa à nossa competência. Afirmamos apenas que todo o mundo deveria desejar, embora ainda ninguém tenha reivindicado, a configuração – viável às ciências e às neurociências cognitivas, e que teria efeitos extremamente positivos na via individual e social – de um sistema de educação pública de crianças e de adultos que asseguram uma alfabetização universal de base tal como definida acima.

Se as desigualdades quanto à alfabetização no mundo e nos países menos desenvolvidos são gigantescas, as que existem no seio mesmo de países desenvolvidos maiores do que se imagina, habituados que estamos a viver entre letrados. Um breve retrato, limitado à França, deveria ser esclarecedor.

O estudo Skills Matter da OCDE (2015) definiu cinco níveis de compreensão de leitura. Abaixo do nível 1, a peça de informação a procurar é idêntica em sua forma à presente no texto e, no nível 1, a significação das frases pode ser encontrada reconhecendo-se palavras muito correntes. Entre os franceses de 16 a 65 anos, 23% não ultrapassam esse nível (é mais do que a média – 19% – dos países da OCDE que participaram desse estudo). O nível 2, cuja exigência é muito modesta, que consiste notadamente em poder parafrasear ou integrar algumas passagens e fazer inferências simples, não é ultrapassado por 58% dos franceses (a média da OCDE é 54%).

No que concerne aos adolescentes escolarizados de 15 anos (OCDE, 2016), com uma escala de 6 níveis, o nível 2 não foi atingido por 20% dos franceses, e o nível 3, por 41%. O que é particularmente inquietante é o aumento da desigualdade entre 2002 e 2015: os três bons leitores (níveis 5 e 6) passaram de 12 a 15,5% – em si uma boa notícia –, enquanto que os três maus leitores (que não atingem o nível 2) passaram de 14 a 22%. A França foi o principal país da OCDE a conhecer um aumento tão importante dessa lacuna na alfabetização. Quais seriam as razões? Quando esses adolescentes forem adultos, como vamos explicar a eles que, apesar de todos os nossos conhecimentos dos processos cognitivos e cerebrais, dos quais um bom número foi

tornado público sobretudo por relatórios da ONL, a França possa estar ainda mais distante que hoje da esperança de uma alfabetização universal?

Nota

[1]

A preparação deste artigo se beneficiou de vários apoios e fontes de financiamento. Alguns foram atribuídos à primeira autora (R. Kolinsky) pelo FRS-FNRS (convenção CDR J.0141.16), assim como pela Universidade Livre de Bruxelas (convenção FER). Outras foram destinadas a L. Cohen e Stanislas Dehaene no quadro do Programa de Investimentos para o Futuro (AANR-10-IAIHU-06; Instituto do Cérebro e da Medula Espinal). A equipe de S. Dehaene deseja igualmente agradecer o Collège de France, a INSERM, o CEA e a Fundação Bettencourt-Schueller.

REFERÊNCIAS

- BAKER C. I. et al. (2007), “Visual word processing and experiential origins of functional selectivity in human extrastriate cortex”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104 (21), 9087-9092.
- BEN-SHACHAR M. et al. (2011), “The development of cortical sensitivity to visual word forms”, *Journal of Cognitive Neuroscience* 23 (9), 2387-2399.
- BINDER J. R. et al. (2005), “Some neurophysiological constraints on models of word naming”, *Neuroimage* 27 (3), 677-693.
- BISHOP C. H. (1964), “Transfer effects of word and letter training in reading 1”, *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 3 (3), 215-221.
- BITAN T. et al. (2005), “Effects of alphabeticality, practice and type of instruction on reading an artificial script: An fMRI study”, *Cognitive Brain Research* 25 (1), 90-106.
- BLAU V. et al. (2010), “Deviant processing of letters and speech sounds as proximate cause of reading failure: A functional magnetic resonance imaging study of dyslexic children”, *Brain* 133 (3), 868-879.
- BOLGER D. J., PERFETTI C. A. & SCHNEIDER W. (2005), “Cross-cultural effect on the brain revisited: Universal structures plus writing system variation”, *Human Brain Mapping* 25 (1), 92-104.
- BORST G. et al. (2015), “The cost of blocking the mirror generalization process in reading: Evidence for the role of inhibitory control in discriminating letters with lateral mirror-image counterparts”, *Psychonomic Bulletin & Review* 22 (1), 228-234.
- BRAGA L. W. et al. (2017), “Tracking adult literacy acquisition with functional MRI: A single-case study”, *Mind, Brain, and Education* 11 (3), 121-132.
- BREM S. et al. (2010), “Brain sensitivity to print emerges when children learn letter-speech sound correspondences”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107 (17), 7939-7944.
- CARREIRAS M. et al. (2009), “An anatomical signature for literacy”, *Nature* 461, 983-986.

- CASTRO-CALDAS A. et al. (1999), "Influence of learning to read and write on the morphology of the corpus callosum", *European Journal of Neurology* 6 (1), 23-28.
- COHEN L. et al. (2000), "The visual word form area: Spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients", *Brain* 123 (2), 291-307.
- COHEN L. et al. (2002), "Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the visual word form area", *Brain* 125 (5), 1054-1069.
- COHEN L. et al. (2003), "Visual word recognition in the left and right hemispheres: Anatomical and functional correlates of peripheral alexias", *Cerebral Cortex* 13 (12), 1313-1333.
- COHEN L. et al. (2008), "Reading normal and degraded words: Contribution of the dorsal and ventral visual pathways", *Neuroimage* 40 (1), 353-366.
- DEAUVIEAU J., REICHSTADT J. & TERRAIL J.-P. (2015), *Enseigner efficacement la lecture: une enquête et ses implications*, Paris, Odile Jacob.
- DEHAENE S. & COHEN L. (2007), "Cultural recycling of cortical maps", *Neuron* 56 (2), 384-398.
- DEHAENE S. et al. (2001), "Cerebral mechanisms of word masking and unconscious repetition priming", *Nature Neuroscience* 4 (7), 752-758.
- DEHAENE S. et al. (2002), "The visual word form area: A prelexical representation of visual words in the fusiform gyrus", *NeuroReport* 13 (3), 321-325.
- DEHAENE S. et al. (2004), "Letter binding and invariant recognition of masked words: Behavioral and neuroimaging evidence", *Psychological Science* 15 (5), 307-313.
- DEHAENE S. et al. (2010a), "Why do children make mirror errors in reading? Neural correlates of mirror invariance in the visual word form area", *Neuroimage* 49 (2), 1837-1848.
- DEHAENE S. et al. (2010b), "How learning to read changes the cortical networks for vision and language", *Science* 330 (6009), 1359-1364.
- DÉJERINE J. (1892), « Contribution à l'étude anatomo-pathologique et clinique des différentes variétés de cécité verbale », *Mémoires de la Société de Biologie* 4, 61-90.
- EHRI L. C. et al. (2001a), "Systematic phonics instruction helps students learn to read: Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis", *Review of Educational Research* 71 (3), 393-447.
- EHRI L. C. et al. (2001b), "Phonemic awareness instruction helps children learn to read: Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis", *Reading Research Quarterly* 36 (3), 250-287.
- FERNANDES T. & KOLINSKY R. (2013), "From hand to eye: The role of literacy, familiarity, graspability, and vision-for-action on enantiomorphy", *Acta Psychologica* 142 (1), 51-61.
- FERNANDES T., LEITE I. & KOLINSKY R. (2016), "Into the looking glass: Literacy acquisition and mirror invariance in preschool and first-grade children", *Child Development* 87 (6), 2008-2025.

- FERNANDES T. et al. (2014), "The deficit of letter processing in developmental dyslexia: Combining evidence from dyslexics, typical readers, and illiterate adults", *Developmental Science* 17 (1), 125-141.
- GAILLARD R. et al. (2006), "Direct intracranial, FMRI, and lesion evidence for the causal role of left inferotemporal cortex in reading", *Neuron* 50 (2), 191-204.
- GOSWAMI U. (2015), "Sensory theories of developmental dyslexia: Three challenges for research", *Nature Reviews Neuroscience* 16 (1), 43-54.
- GRAINGER J., TYDGAT I. & ISSELÉ J. (2010), "Crowding affects letters and symbols differently", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 36 (3), 673-688.
- HIRSHORN E. A. et al. (2016), "Fusiform gyrus laterality in writing systems with different mapping principles: An artificial orthography training study", *Journal of Cognitive Neuroscience* 28 (6), 882-894.
- HOUDÉ O. et al. (2010), "Mapping numerical processing, reading, and executive functions in the developing brain: An fMRI meta-analysis of 52 studies including 842 children", *Developmental Science* 13 (6), 876-885.
- HUETTIG F. et al. (2018), "Distinguishing cause from effect – many deficits associated with developmental dyslexia may be a consequence of reduced and suboptimal reading experience", *Language, Cognition and Neuroscience* 33 (3), 333-350.
- JAMES K. H. (2010), "Sensori-motor experience leads to changes in visual processing in the developing brain", *Developmental Science* 13 (2), 279-288.
- JOBARD G., CRIVELLO F. & TZOURIO-MAZOYER N. (2003), "Evaluation of the dual route theory of reading: A metanalysis of 35 neuroimaging studies", *Neuroimage* 20 (2), 693-712.
- KOLINSKY R. & FERNANDES T. (2014), "A cultural side effect: Learning to read interferes with identify processing of familiar objects", *Frontiers in Psychology* 5, 1224.
- KOLINSKY R. et al. (2011), "Enantiomorphy through the looking glass: Literacy effects on mirrorimage discrimination", *Journal of Experimental Psychology: General* 140 (2), 210-238.
- KOLINSKY R. et al. (2018), "Completely illiterate adults can learn to decode in three months", *Reading and Writing* 31 (3), 649-677.
- LIBERMAN I. Y. et al. (1974), "Explicit syllable and phoneme segmentation in the young child", *Journal of Experimental Child Psychology* 18 (2), 201-212.
- LONGCAMP M. et al. (2008), "Learning through hand- or typewriting influences visual recognition of new graphic shapes: Behavioral and functional imaging evidence", *Journal of Cognitive Neuroscience* 20 (5), 802-815.
- LÓPEZ-BARROSO D. et al. (en révision), "The impact of schooling and literacy on the functional connectivity of vision and language-related networks", *Cerebral Cortex*.
- MAURER U., ZEVIN J. D. & MCCANDLISS B. D. (2008), "Left-lateralized N170 effects of visual expertise in reading: Evidence from Japanese syllabic and logographic scripts", *Journal of Cognitive Neuroscience* 20 (10), 1878-1891.
- MEI L. et al. (2013), "Orthographic transparency modulates the functional asymmetry in the fusiform cortex: An artificial language training study", *Brain & Language* 125 (2), 165-172.

- MESGARANI N. et al. (2014), "Phonetic feature encoding in human superior temporal gyrus", *Science* 343 (6174), 1006-1010.
- MONZALVO K. & DEHAENE-LAMBERTZ G. (2013), "How reading acquisition changes children's spoken language network", *Brain and Language* 127 (3), 356-365.
- MORAIS J. (2016), *Lire, écrire et être libre : de l'alphabétisation à la démocratie*, Paris, Odile Jacob.
- MORAIS J. (à par.), "The methods issue revisited: From a developmental and a socio-cultural-political perspective", in T. Lachmann & T. Weis (eds.), *Reading and Dyslexia: From Basic Functions to Higher Order Cognition*, Berlin, Springer.
- MORAIS J., ALEGRIA J. & CONTENT A. (1987), "The relationships between segmental analysis and alphabetic literacy: An interactive view", *Cahiers de Psychologie Cognitive / Current Psychology of Cognition* 7 (5), 415-438.
- MORAIS J. et al. (1979), "Does awareness of speech as a sequence of phones arise spontaneously?", *Cognition* 7 (4), 323-331.
- NAKAMURA K., MAKUUCHI M. & NAKAJIMA Y. (2014), "Mirror-image discrimination in the literate brain: A causal role for the left occipitotemporal cortex", *Frontiers in Psychology* 5, 478.
- NATIONAL READING PANEL (2000), *Report of the National Reading Panel – Teaching Children to Read: An Evidence-Based Assessment of the Scientific Research Literature on Reading and its Implications for Reading Instruction*, Washington (DC), National Institute of Child Health and Human Development.
- NOBRE A. C., ALLISON T. & MCCARTHY G. (1994), "Word recognition in the human inferior temporal lobe", *Nature* 372 (6503), 260-263.
- OBSERVATOIRE NATIONAL DE LA LECTURE [ONL] (1998), *Apprendre à lire*, Paris, CNDP & Odile Jacob. OCDE (2016), *Résultats du PISA 2015 : l'excellence et l'équité dans l'éducation*, Paris, OCDE. OECD (2015), *Skills Matter: Further Results from the Survey of Adult Skills*, Paris, OECD.
- ONG W. J. (1982), *Orality and Literacy: The Technologizing of the Word*, New York (NY), Methuen.
- PATTAMADILOK C. et al. (2010), "Auditory word serial recall benefits from orthographic dissimilarity", *Language and Speech* 53 (3), 321-341.
- PEDERSON E. (2003), "Mirror-image discrimination among nonliterate, monoliterate, and biliterate Tamil subjects", *Written Language and Literacy* 6 (1), 71-91.
- PEGADO F., NAKAMURA K. & HANNAGAN T. (2014), "How does literacy break mirror invariance in the visual system?", *Frontiers in Psychology* 5, 703.
- PEGADO F. et al. (2011), "Breaking the symmetry: Mirror discrimination for single letters but not for pictures in the visual word form area", *Neuroimage* 55 (2), 742-749.
- PEGADO F. et al. (2014), "Timing the impact of literacy on visual processing", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111 (49), E5233-E5242.
- PETERSEN S. E. et al. (1988), "Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single-word processing", *Nature* 331 (6157), 585-589.

- PETERSSON K. M. et al. (2007), "Literacy: A cultural influence on functional left-right differences in the inferior parietal cortex", *European Journal of Neuroscience* 26 (3), 791-799.
- PINEL P. et al. (2015), "Genetic and environmental influences on the visual word form and fusiform face areas", *Cerebral Cortex* 25 (9), 2478-2493.
- PIQUARD-KIPFFER A. & SPRENGER-CHAROLLES L. (2013), "Early predictors of future reading skills: A follow-up of French-speaking children from the beginning of kindergarten to the end of the second grade (age 5 to 8)", *L'Année psychologique* 113 (4), 491-521.
- POST D. (2016), "Adult literacy benefits? New opportunities for research into sustainable development", *International Review of Education* 62 (6), 751-770.
- PUCE A. et al. (1996), "Differential sensitivity of human visual cortex to faces, letterstrings, and textures: A functional magnetic resonance imaging study", *Journal of Neuroscience* 16 (16), 5205-5215.
- READ C. et al. (1986), "The ability to manipulate speech sounds depends on knowing alphabetic writing", *Cognition* 24 (1-2), 31-44.
- REICH L. et al. (2011), "A ventral visual stream reading center independent of visual experience", *Current Biology* 21 (5), 363-368.
- SAMUELS S. J., LABERGE D. & BREMER C. D. (1978), "Units of word recognition: Evidence for developmental changes", *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 17 (6), 715-720.
- SAYGIN Z. M. et al. (2016), "Connectivity precedes function in the development of the visual word form area", *Nature Neuroscience* 19 (9), 1250-1255.
- SCLIAR-CABRAL L. et al. (1997), "The awareness of phonemes: So close-so far away", *International Journal of Psycholinguistics* 13, 211-240.
- SEIDENBERG M. S. & TANENHAUS M. K. (1979), "Orthographic effects on rhyme monitoring", *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory* 5 (6), 546-554.
- SERNICLAES W. et al. (2005), "Categorical perception of speech sounds in illiterate adults", *Cognition* 98 (2), B35-B44.
- SHARE D. L. (1995), "Phonological recoding and self-teaching: Sine qua non of reading acquisition", *Cognition* 55 (2), 151-218.
- SHAYWITZ B. A. et al. (2002), "Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia", *Biological Psychiatry* 52 (2), 101-110.
- SNOW C. E., BURNS M. S. & GRIFFIN P. [NATIONAL RESEARCH COUNCIL] (eds.) (1998), *Preventing Reading Difficulties in Young Children*, Washington (D.C.), National Academy Press.
- STRIEM-AMIT E. et al. (2012), "Reading with sounds: Sensory substitution selectively activates the visual word form area in the blind", *Neuron* 76 (3), 640-652.
- SZWED M. et al. (2014), "Effects of literacy in early visual and occipitotemporal areas of Chinese and French readers", *Journal of Cognitive Neuroscience* 26 (3), 459-475.
- THIEBAUT DE SCHOTTEN M. et al. (2014), "Learning to read improves the structure of the arcuate fasciculus", *Cerebral Cortex* 24 (4), 989-995.

TURKELTAUD P. E. et al. (2003), "Development of neural mechanisms for reading", *Nature Neuroscience* 6 (7), 767-773.

VAN ATTEVELDT N. et al. (2004), "Integration of letters and speech sounds in the human brain", *Neuron* 43 (2), 271-282.

VENTURA P. et al. (2013), "Literacy acquisition reduces the influence of automatic holistic processing of faces and houses", *Neuroscience Letters* 554, 105-109.

VINCKIER F. et al. (2007), "Hierarchical coding of letter strings in the ventral stream: Dissecting the inner organization of the visual word-form system", *Neuron* 55 (1), 143-156.

YEATMAN J. D. et al. (2012), "Development of white matter and reading skills", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109 (44), E3045-E3053.

YONCHEVA Y. N. et al. (2010), "Attentional focus during learning impacts N170 ERP responses to an artificial script", *Developmental Neuropsychology* 35 (4), 423-445.

ZIEGLER J. C. & FERRAND L. (1998), "Orthography shapes the perception of speech: The consistency effect in auditory word recognition", *Psychonomic Bulletin & Review* 5 (4), 683-689.

ZOCCOLOTTI P. et al. (2005), "Word length effect in early reading and in developmental dyslexia", *Brain and Language* 93 (3), 369-373.