

Validité discriminante d'épreuves de dépistage de la dyslexie chez des enfants de CE2-CM1

G. LE JAN^{1,2}, R. LE BOUQUIN JEANNES^{1,2}, N. COSTET^{1,2}, G. FAUCON^{1,2}

¹ INSERM, U 642, Rennes, F-35000, France

² Université de Rennes 1, LTSI, F-35000, France

LTSI, Campus de Beaulieu, Université de Rennes 1, 35042 Rennes Cedex, France

guytaine.lejan@univ-rennes1.fr

Résumé – La dyslexie est un trouble spécifique du langage écrit. Les recherches menées sur l'origine de la dyslexie ont conduit à de multiples hypothèses (*i.e.* hypothèse phonologique, hypothèse du traitement auditif temporel, hypothèse cérébelleux, *etc.*). Cette diversité des hypothèses a engendré des traitements multiples et variés et, aujourd'hui, les praticiens expriment le besoin d'un outil d'aide au diagnostic de la dyslexie prenant en compte l'ensemble des déficits de l'enfant afin de proposer une rééducation adaptée. Ce papier présente la conception d'un test préliminaire contenant les épreuves d'évaluation de la dyslexie les plus représentatives de la littérature et les premiers résultats concernant la validité discriminante de ce test préliminaire chez des enfants en âge scolaire (8-10 ans).

Abstract – Dyslexia is a specific disorder of written language. Researches led on dyslexia origin have conducted to multiple hypotheses (*i.e.* phonological hypothesis, rapid auditory processing hypothesis, cerebellum hypothesis, *etc.*). These multiple hypotheses created various diagnosis methods and treatments which are sometimes inadequate. In this context, practitioners need an automatic tool to help in diagnosing dyslexia. This tool must evaluate children's own deficit and advise adapted rehabilitation. This paper presents the conception of a preliminary test containing the most representative dyslexia evaluation tasks from literature and the first results concerning the discriminatory validity of this preliminary test in school age children (8-10 years).

1. Introduction

La dyslexie développementale concerne environ 5% des enfants en âge scolaire. Elle correspond, selon la Fédération Mondiale de Neurologie, à « un désordre manifesté par une difficulté durable et sévère dans l'apprentissage de la lecture, en dépit d'une intelligence normale, d'un enseignement conventionnel et d'opportunités socioculturelles adéquates ». Elle peut s'accompagner à divers degrés de gravité, de troubles de l'attention, de troubles visuo-attentionnels, auditifs et de mémoire. Etant donné la multiplicité des étiologies possibles, la détermination des causes de ce trouble chez l'enfant est particulièrement difficile. En effet, en plus du courant majoritaire qui défend l'idée d'un déficit phonologique initial non nécessairement lié à un déficit sensoriel ou moteur, on distingue quatre principales hypothèses alternatives : l'hypothèse auditive [5], [7], l'hypothèse visuelle [8], l'hypothèse magnocellulaire [6] et l'hypothèse cérébelleuse [3]. Selon l'hypothèse auditive, les enfants auraient des difficultés dans le traitement de brefs stimuli auditifs présentant des transitions rapides et ont également de faibles performances dans les tâches de répétition, de modulation d'amplitude et de fréquence, de perception catégorielle de phonèmes et de pseudo-mots. L'hypothèse visuelle repose sur l'observation de troubles

visuels tels qu'une instabilité de la fixation bi-oculaire, un stress visuel et des déficits visuo-attentionnels.

L'hypothèse magnocellulaire intègre les deux théories précédentes en défendant une théorie intégrative affectant les voies magnocellulaires auditives et visuelles.

Enfin, l'hypothèse cérébelleuse repose sur l'observation que les enfants dyslexiques présentent souvent des troubles moteurs se manifestant par de faibles aptitudes en matière de dextérité manuelle, de coordination motrice et de problèmes d'équilibre. La plupart de ces théories ne sont focalisées que sur une seule modalité (auditive, visuelle ou motrice). Or, 40% des mauvais lecteurs présenteraient un déficit auditif [4], une minorité présenterait des problèmes visuels, les troubles moteurs n'étant observés que chez un sous-groupe (estimé de 30 à 50%) de dyslexiques. Seul le déficit phonologique semble constituer un facteur commun à l'ensemble des dyslexies développementales. La réalisation d'un outil de diagnostic automatique permettrait de prendre en compte l'ensemble des troubles associés afin de faciliter le diagnostic et de guider la rééducation. Ce papier présente la première étape de sa conception : la réalisation d'un « test préliminaire » de dépistage de la dyslexie et l'étude de sa validité discriminante sur deux groupes d'enfants (dyslexiques et non dyslexiques) âgés de 8 à 10 ans.

2. Test préliminaire

2.1 Principe

Le test préliminaire a consisté à faire passer à 56 enfants normo-lecteurs âgés de 8 à 10 ans et à 25 enfants de même âge ayant une dyslexie développementale un certain nombre d'épreuves de dépistage de la dyslexie recouvrant tous les déficits associés. Il doit permettre de déterminer le profil de l'enfant testé (quels sont les principaux déficits ? quels sont les déficits associés ? quel est le degré de sévérité ?). Pour les enfants normo-lecteurs, le plus faible niveau de lecture obtenu au « test de l'Alouette » (cf. § 2.2) était de 17 mois de retard. Quant aux enfants dyslexiques, un retard sévère de 26 mois en moyenne est relevé. Afin de réaliser le test dans de bonnes conditions, chaque enfant était vu individuellement (excepté pour la dictée cf. § 2.2) durant trois sessions de 45 minutes environ. Une plate-forme logicielle a été développée [2] pour intégrer certaines épreuves sur un ordinateur portable. Tous les stimuli sonores ont été générés numériquement et délivrés par un casque audio Sennheiser HD 180.

2.2 Description des épreuves

- Epreuves de lecture :
 - test de l'Alouette [1] : permet de déterminer l'âge lexical (*i.e.* le niveau de lecture) de l'enfant ;
 - lecture de mots isolés et de pseudo-mots : au total 120 mots, regroupés suivant leur fréquence et leur régularité, sont à lire à haute voix ;
- Epreuve de mémoire : permet d'évaluer, par un empan verbal (endroit/envers), la mémoire à court terme et la mémoire de travail ;
- Epreuves phonologiques :
 - épreuves métaphonologiques : requièrent un traitement conscient des unités phonologiques. Elles regroupent : les contrepèteries (intervertir les deux premiers sons de deux mots afin de créer des pseudo-mots), l'omission du phonème initial (retirer le premier phonème de chaque mot présenté), le jugement de rimes (trouver l'intrus, celui qui ne rime pas parmi trois mots) ;
 - épreuve faisant appel à des automatismes phonologiques : discrimination lexicale (reconnaître si la prononciation de deux mots est la même ou non) ;
- Epreuve de motricité, extraite de la batterie NEPSY (bilan NEuroPSYchologique) : exécution de séquences motrices manuelles ;
- Epreuve visuo-attentionnelle : une épreuve de report partiel de lettres est mise en œuvre. A la suite d'un point central sur l'écran, une série de lettres apparaît pendant un temps très court (250 ms), et, pour l'une d'elles un tiret se met sous son emplacement et l'enfant doit dire de quelle lettre il s'agit ;
- Epreuve d'écriture : dictée extraite de la BELEC (Batterie d'Evaluation du Langage Ecrit) ;
- Epreuve auditive : exercice d'identification basé sur le VOT (Voice Onset Time). Le VOT correspond à la durée séparant le relâchement de l'air comprimé (explosion) et

la mise en vibration des cordes vocales. La production de plusieurs VOT intermédiaires engendre un continuum de syllabes identifiables comme étant soit /ba/, soit /pa/. A partir d'un continuum allant d'un VOT de -40 ms à +40 ms, l'exercice proposé est le suivant : l'enfant entend une syllabe et doit indiquer s'il entend plutôt un /ba/ ou un /pa/. La précision catégorielle est ensuite évaluée par le calcul de la pente de la fonction d'identification. Cette fonction est donnée par la moyenne des réponses /pa/ en fonction de la valeur du VOT ;

Tous les résultats obtenus par les enfants à ce test préliminaire sont enregistrés dans un tableau de données où les lignes correspondent aux individus et les colonnes aux variables (exemple : test de l'Alouette, empan verbal endroit, empan verbal envers, score en lecture de mots réguliers fréquents, *etc.*).

3. Méthodes

3.1 Analyse des propriétés discriminantes de chaque épreuve

Pour chaque épreuve, un test de Mann-Whitney a été utilisé pour comparer les résultats obtenus par les enfants dyslexiques et non dyslexiques. Ce test non paramétrique compare les distributions de chaque variable de deux groupes indépendants. Un seuil significatif de 0,05 a été choisi pour déterminer si l'épreuve est discriminante ou non (H) : H = 0 indique que l'hypothèse nulle (*i.e.* les médianes sont égales dans les deux groupes) est vérifiée pour un seuil de 5% ($p > 0,05$). H = 1 indique que les médianes sont différentes dans les deux groupes ($p < 0,05$), l'hypothèse nulle ne peut pas être rejetée. Dans l'étape suivante les épreuves identifiées comme non discriminantes ont été exclues de l'analyse.

3.2 Analyse de la capacité de discrimination du test préliminaire

L'analyse discriminante est l'une des méthodes les plus utilisées pour différencier au mieux 2 groupes de sujets à l'aide d'un ensemble de p descripteurs quantitatifs. Son objectif est d'établir une règle de décision qui permette d'affecter à l'un des groupes tout nouvel individu pour lequel on connaît seulement les descripteurs. Dans un premier temps, cette méthode a été appliquée sur les scores bruts des épreuves.

3.2.1 Règle de décision

La règle d'affectation repose sur la fonction discriminante $S(x_i)$:

$$S(x_i) = \log \frac{P(i \in G_1 / X = x_i)}{P(i \in G_2 / X = x_i)} \quad (1)$$

où X est le p -vecteur des descripteurs, G_1 représente le groupe de dyslexiques et G_2 le groupe des non dyslexiques.

La règle de décision est la suivante :

$$\begin{aligned} S(x_i) > 0 &\Rightarrow i \in G_1 \\ S(x_i) < 0 &\Rightarrow i \in G_2 \\ S(x_i) = 0 &\Rightarrow i \in G_1 \text{ ou } G_2 \text{ ou pas de décision} \end{aligned} \quad (2)$$

Pour une première analyse, l'approche paramétrique a été choisie pour estimer $S(x_i)$ avec l'ensemble des variables : nous avons supposé que $X \approx N(\mu_k; \Sigma_k), k=1,2$, que les probabilités *a priori* d'appartenir aux groupes 1 et 2 sont égales, et que les matrices de variance-covariance intraclasse sont également identiques dans les deux groupes ($\Sigma_1 = \Sigma_2 = \Sigma$). $S(x)$ est alors une fonction linéaire de x :

$$S(x) = {}^t x \Sigma^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - \frac{1}{2} {}^t (\bar{x}_1 + \bar{x}_2) \Sigma^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \quad (3)$$

où \bar{x}_1 et \bar{x}_2 représentent les moyennes des scores obtenus respectivement dans le groupe G_1 et G_2 .

3.2.2 Qualité de la règle de décision

La qualité de la règle de décision ainsi obtenue a été évaluée sur les critères de sensibilité (taux de détection des dyslexiques), spécificité (taux de détection des non dyslexiques), taux de faux-positifs (taux d'individus non dyslexiques parmi ceux classés dyslexiques), de faux-négatifs (taux d'individus dyslexiques parmi ceux classés non dyslexiques). Ces taux ont été estimés par Bootstrap (100 tirages).

3.2.3 Recodage des épreuves en variables catégorielles

Les scores bruts des épreuves dont nous disposons sont de nature quantitative, mais le nombre de valeurs possibles est parfois faible et l'hypothèse de normalité des distributions peu adaptée dans cette situation. Nous avons donc dans un deuxième temps transformé ces données en variables catégorielles, puis utilisé la méthode d'analyse discriminante DISQUAL, qui consiste à réaliser une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) sur les données catégorielles puis une analyse discriminante sur les facteurs issus de l'ACM (les 10 premiers facteurs ont été retenus). Les deux analyses (linéaire et DISQUAL) ont été comparées.

4. Résultats

4.1 Détermination des épreuves ayant une capacité discriminante

Les résultats du test de Mann-Whitney appliqué à l'ensemble des épreuves sont donnés dans le tableau 1. Les scores obtenus dans les épreuves de mémoire visuelle, d'attention, de discrimination lexicale, de morphologie et de « tapping » ne différencient pas les deux groupes

($p > 0,05$). De plus, contrairement à l'hypothèse auditive, les épreuves de TMTF ne semblent pas avoir une capacité à discriminer les deux groupes. Ces résultats suggèrent que les faibles seuils de modulation mesurés chez les enfants dyslexiques concernent probablement une minorité de ces enfants. Pour les scores de lecture, seuls les scores obtenus en lecture de mots fréquents réguliers ne montrent pas de différence significative entre les deux groupes ($p = 0,06$). Mais cette épreuve est importante pour déterminer plus précisément la forme de dyslexie (phonologique, surface ou mixte). Les autres épreuves ont une probabilité critique faible ($p < 10^{-3}$). On remarque également qu'une majorité des enfants dyslexiques ont des troubles phonologiques. En effet, deux épreuves mesurant des capacités phonologiques (contrepèterie et omission) discriminent les deux groupes d'enfants. Les scores en dictée et la mesure de la pente d'identification dans l'épreuve de VOT apparaissent comme étant significativement différents entre les deux groupes.

Tab. 1 : Test de Mann-Whitney comparant les enfants dyslexiques et non dyslexiques (NS = Non Significatif)

Noms des variables	P-value	Hypothèse
Epreuves de mémoire		
Empan endroit verbal	< 0,05	1
Empan envers verbal	< 10^{-3}	1
Empan visuel	NS	0
Epreuve d'attention		
Barrage de 3 (60 s)	NS	0
Epreuves de lecture		
Lecture de mots réguliers fréquents	NS	0
Temps de lecture de mots réguliers fréquents	< 10^{-3}	1
Lecture de mots irréguliers fréquents	< 10^{-3}	1
Temps de lecture de mots irréguliers fréquents	< 10^{-3}	1
Lecture de mots réguliers peu fréquents	< 10^{-3}	1
Temps de lecture de mots réguliers peu fréquents	< 10^{-3}	1
Lecture de mots irréguliers peu fréquents	< 10^{-3}	1
Temps de lecture de mots irréguliers peu fréquents	< 10^{-3}	1
Lecture de pseudo-mots proches phonologiquement	< 10^{-3}	1
Temps de lecture de pseudo-mots proches phonologiquement	< 10^{-3}	1
Lecture de pseudo-mots	< 10^{-3}	1
Temps de lecture de pseudo-mots	< 10^{-3}	1
Epreuves métaphonologiques		
Segmentation	NS	0
Omission	< 10^{-3}	1
Jugement de rime	NS	0
Contrepèterie	< 10^{-3}	1
Epreuves de test des automatismes phonologiques		
Discrimination lexicale	NS	0
Test de la capacité mobilisée lors de la lecture		
Morphologie	NS	0
Epreuve visuo-attentionnelle		
Report Partiel	< 10^{-3}	1
Epreuves de motricité		
Séquences motrices	< 10^{-3}	1
Tapping	NS	0
Dictée		
Graphies consistantes acontextuelles	< 10^{-3}	1
Epreuves auditives		
VOT scores d'identification	< 10^{-3}	1
VOT scores de discrimination	NS	0

4.2 Evaluation de la capacité du « test préliminaire » à détecter la dyslexie

A partir des épreuves discriminantes du test préliminaire (décrites au § 2.2), on dispose de 19 variables relevées sur 81 individus (25 dyslexiques et 56 non dyslexiques). Deux analyses discriminantes sont appliquées : l'analyse linéaire (scores en continu) et l'analyse DISQUAL (scores recodés en catégories).

Les Tableaux 2 et 3 montrent les résultats obtenus par l'analyse linéaire. La matrice de classification (*cf.* Tab. 2) permet d'estimer la qualité de la règle de décision (*cf.* Tab. 3) par différents critères (sensibilité, spécificité, *etc.*). Dans le cas des variables non recodées, le pourcentage global d'individus bien classés est de 92%. En s'intéressant au pourcentage de bien classés dans les deux groupes (enfants dyslexiques et non dyslexiques), on constate que la règle de classement possède une très bonne aptitude à identifier l'absence de dyslexie (94% bien classés dans le groupe non dyslexique) et sa performance est également élevée en matière de détection de la dyslexie (87% bien classés dans le groupe dyslexique). Cette règle discriminante permet donc de détecter 87% de dyslexiques. Le taux de faux-négatifs est de 20% et le taux de faux-positifs est de 6%. L'efficacité de la règle de décision pour détecter les dyslexiques est donc au détriment d'un taux de faux-négatifs relativement élevé.

Tab. 2 : matrice de classification (effectifs estimés par Bootstrap) obtenue avec l'analyse linéaire (D = Dyslexique, ND = Non Dyslexique)

		Groupe d'affectation		Total
		D	ND	
Groupe d'appartenance	D	21,84	5,46	25
	ND	3,5	52,5	56

Tab. 3 : qualité de la règle de décision avec l'analyse linéaire

% global de bien classés	0,92
Sensibilité	0,87
Spécificité	0,94
% Taux de faux-négatifs	0,20
% Taux de faux-positifs	0,06

Les Tableaux 4 et 5 montrent les résultats obtenus par l'analyse DISQUAL. Avec la méthode DISQUAL, le pourcentage global d'individus bien classés est légèrement plus élevé (93%) (*cf.* Tab. 3 et 4). En effet, la règle de classement possède une meilleure aptitude à identifier l'absence de dyslexie (+ 2 points de bien classés). En revanche, la performance en matière de détection de la dyslexie reste relativement stable (87%). Les taux de faux-positifs et de faux-négatifs sont plus faibles (- 7 points pour le taux de faux-négatifs et - 2 points pour le taux de faux-positifs). Même si, de manière générale, le pourcentage de bien classés est plus élevé dans le groupe le plus important (phénomène courant de l'analyse discriminante), le test préliminaire montre une bonne capacité à discriminer les deux populations. La combinaison du test de Mann-Whitney et de l'analyse discriminante aboutit à de bonnes performances de classification.

Tab. 4 : matrice de classification (effectifs estimés par Bootstrap) obtenue avec l'analyse DISQUAL

		Groupe d'affectation		Total
		D	ND	
Groupe d'appartenance	D	21,8	3,2	25
	ND	2,32	53,68	56

Tab. 5 : qualité de la règle de décision avec l'analyse DISQUAL

% global de bien classés	0,93
Sensibilité	0,87
Spécificité	0,96
% Taux de faux-négatifs	0,13
% Taux de faux-positifs	0,04

5. Perspectives

Par la suite, on souhaite améliorer la règle de décision en augmentant le nombre d'individus bien classés et en réduisant le nombre de faux-positifs. Plusieurs méthodes sont alors envisagées : mise en œuvre d'une approche quadratique qui permet de tenir compte de la variabilité différentielle des scores dans les deux groupes, mise en œuvre d'une approche non-paramétrique qui permet de prendre en compte les distributions réellement observées des variables et introduction de coûts de mauvais classement. D'autre part, notre objectif final étant de proposer un outil de diagnostic automatique dont la première phase comporterait un nombre d'épreuves réduit, nous envisageons de mettre en œuvre une méthode de sélection des variables de type "stepwise".

Références

- [1] P. Lefavrais, "Description, définition et mesure de la dyslexie", Edition E.C.P.A., 1965.
- [2] G. Le Jan, N. Troles, R. Le Bouquin Jeannès, G. Faucon, J.E. Gombert, P. Scalart, D. Pichancourt, "Développement d'une plate-forme logicielle en vue de l'élaboration d'un outil d'aide au diagnostic de la dyslexie", *Manifestation des jeunes chercheurs STIC (Majestic)*, 2006.
- [3] R.I. Nicolson, A.J. Fawcett, and P. Dean, "Dyslexia, development and the cerebellum", *Trends in Neuroscience*, 24(9), pp. 515-516, 2001.
- [4] F. Ramus, S. Rosen, S.C. Dakin, B.L. Day, J.M. Castellote, S. White, & U. Frith, "Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults", *Brain*, 126(4), pp. 841-865, 2003.
- [5] W. Serniclaes, L. Sprenger-Charolles, R. Carré and J.F. Démonet, "Perceptual discrimination of speech sounds in dyslexia", *Journal Speech Language Research*, 44, pp. 384-399, 2001.
- [6] J. Stein, "The magnocellular theory of developmental dyslexia", *Dyslexia*, 7, pp. 12-36, 2001.
- [7] P. Tallal, "Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children", *Brain Lan.*, 9, pp. 182-198, 1980.
- [8] S. Valdois, M.L. Bosse, B. Ans, S. Carbonnel, M. Zorman, D. David and J. Pellat, "Phonological and visual processing deficits can dissociate in developmental dyslexia: evidence from two case studies", *Reading and writing: an Interdisciplinary Journal*, 16, pp. 541-572, 2003.