

de séances semblent nécessaires pour objectiver les améliorations.

## Conclusion

Malgré un appareillage efficace, nous constatons que des difficultés persistent chez le patient appareillé. Entendre, c'est aussi comprendre et interpréter cognitivement des informations auditives. L'accompagnement thérapeutique est donc une nécessité pour le patient. L'orthophoniste, professionnel de la communication, a pour rôle d'aider le patient lors d'un appareillage. Grâce à ses connaissances linguistiques, neurologiques et psychoacoustiques, il peut proposer une rééducation adaptée au patient. Les résultats obtenus avec ce type de prise

en charge nous encouragent à partager notre pratique et à réfléchir sur l'éducation thérapeutique du patient sourd.

## Remerciements

Élodie Lacore, Carole Lermerle, Nassib Khoury, Stéphanie Borel.

## RÉFÉRENCES

- [1] Abdellaoui A. & Huy PTB. (2013). Facteurs de succès ou d'échec de la prothèse auditive. Résultats d'une enquête nationale. *Annales françaises d'Oto-rhinolaryngologie et de Pathologie Cervico-faciale*, 130(6), 318-324.
- [2] Bouccara D. et al. (2005). Réhabilitation auditive. *M/S Revues : Dossier technique*.
- [3] Gallego S. (1998). Anatomie-physiologie de l'audition
- [4] Petit C. (2013). Génétique et physiologie cellulaire. *L'annuaire du Collège de France. Cours et travaux*, (112), 263-290.

- [5] Atiam M. & Isnard V. (2013). Mécanismes de perception auditive pour la localisation de sources sonores à travers les fréquences.
- [6] Léger L. (2016). *L'attention*. Dunod.
- [7] Fontan L. (2012). *De la mesure de l'intelligibilité à l'évaluation de la compréhension de la parole pathologique en situation de communication* (Doctoral dissertation, Université Toulouse le Mirail-Toulouse II).
- [8] Dekerle M. (2015). *L'impact de la dégradation du signal de parole sur le langage, de sa représentation à sa compréhension* (Doctoral dissertation, Université Claude Bernard-Lyon I).
- [9] Jutras B. et al. (2015). Impact de l'entraînement auditif sur les habiletés d'écoute dans le bruit des enfants ayant un trouble de traitement auditif : résultats d'une étude pilote Impact of auditory training on the listening skills of children with auditory processing disorder in noisy situations : Results. *Revue canadienne d'orthophonie et d'audiologie* / Vol. 39(4).
- [10] Dumont A. & Calbour C. (2002). *Voir la parole: lecture labiale, perception audiovisuelle de la parole* (Vol. 18). Elsevier Masson.
- [11] Chon S. et al. (2013). Effect of timbre on melody recognition in three-voice counterpoint music.

## Article

# Validation en français d'un système portable d'enregistrement et de reconnaissance automatique de la parole (LENA) : intérêts et limites pour la recherche clinique chez l'enfant

Marie-Thérèse Le Normand<sup>1</sup>, Mélanie Canault<sup>2</sup> & Hung Thai-Van<sup>3</sup>

Depuis sa création en 2008 aux États-Unis, le système LENA représente une des alternatives de choix pour recueillir de manière intensive et écologique des données d'enregistrement audio chez l'enfant et l'adulte. LENA est constitué d'un enregistreur numérique conçu particulièrement pour les enfants de 3 à 48 mois. L'enregistreur, de taille réduite et pratique, s'insère aisément dans la poche d'un vêtement adapté (Figure 1). Le système peut enregistrer jusqu'à 16 heures de données. Son logiciel est capable de séparer le signal de parole du bruit environnant et de fournir des bilans informatisés représentant le nombre de mots produits par l'enfant et l'adulte ainsi que le nombre des tours de parole durant un intervalle de temps que l'on peut fixer (5, 15, 30, 60 minutes ou la journée entière).

<sup>1</sup> Laboratoire de Psychopathologie et Processus de Santé (LPPS, EA 4057) Institut de Psychologie Université Paris Descartes, Sorbonne Paris Cité 71, avenue Édouard Vaillant 92100 Boulogne-Billancourt – e-mail : marie-therese.le-normand@parisdescartes.fr

<sup>2</sup> Laboratoire Dynamique du Langage – UMR 5596 CNRS Université Lumière Lyon 2 DDL – ISH 14, av. Berthelot F-69363 Lyon Cedex 7 – e-mail : melanie.canault@univ-lyon1.fr

<sup>3</sup> Service d'Audiologie & Explorations Otoneurologiques, Hospices Civils de Lyon & Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon, INSERM, U1028, CNRS UMR 5292, Groupement Hospitalier Édouard Herriot Pavillon U 5 place d'Arsonval 69437 Lyon cedex 03 – e-mail : hung.thai-van@chu-lyon.fr

Pré-publication résumée d'une version complète d'un article à paraître dans *Audiology Direct*.

*L'ensemble des algorithmes acoustiques du système LENA détecte la parole produite à proximité ou à distance de l'enfant et la sépare du bruit environnant*

Pour parvenir à ces calculs rapides, le système LENA s'appuie sur un ensemble d'algorithmes acoustiques qui



Figure 1. <http://www.lenafoundation.org/ProSystem/Overview.aspxcan>

détecte la parole produite à proximité ou à distance de l'enfant et la sépare du bruit environnant. Les modèles acoustiques classent le signal audio en différentes catégories selon qu'il s'agit de sons de parole ou de sons de l'environnement. Le système distingue ainsi les voix d'homme adulte, de femme adulte, de l'enfant qui porte l'appareil enregistreur ou d'autres enfants, mais aussi le bruit, les médias, les chevauchements de parole, ou les silences

### Validation du système d'étiquetage LENA

Cette méthode de reconnaissance automatique de la parole et de l'environnement a été validée par ses concepteurs qui ont montré un taux d'accord variant de 76 à 82 % entre le jugement de l'expert humain et le système d'étiquetage LENA [1] (Tableau 1).

Plus spécifiquement, Oller *et al.* (2010) [2] ont montré que le système LENA permet de classer correctement 75 % des vocalisations et 84 % des non vocalisations (pleurs et sons végétatifs), indiquant une bonne concordance entre le jugement de l'expert humain et le système d'étiquetage LENA pour les productions de l'enfant (Tableau 2).

La plupart des études utilisant le système LENA ont été effectuées chez des enfants anglophones [2 ; 3 ; 4]. Étant donné les nouvelles perspectives diagnostiques et thérapeutiques offertes par ce système, celui-ci pourrait avoir un grand intérêt pour la communauté scientifique internationale,

particulièrement dans les pays multilingues, mais cela soulève la question de savoir si son utilisation peut être généralisée à toutes les langues du monde. Ceci est loin d'être évident puisque LENA a été conçu pour la langue anglaise avec une modélisation spécifique du traitement du signal. Des validations ont été réalisées pour le chinois mandarin [5 ; 6], l'espagnol [7 ; 8], pour le coréen [9], l'arabe [10] et le vietnamien [11]. Des études dans des environnements bilingues et trilingues ont été aussi entreprises. Weisleder et Fernald (2013) [12] ont examiné, sur des

échantillons enregistrés de 60 minutes, la qualité du langage adressé à l'enfant entre 19 et 24 mois d'âge chez 29 familles hispanophones de milieu social défavorisé vivant aux États-Unis.

### Matériel et méthodes

Pour la validation du système LENA en français, nous avons recruté dix-huit participants âgés de 3 à 48 mois que nous avons répartis en 6 groupes d'âge correspondant aux grandes étapes du développement linguistique : vocalisations de 3 à 6 mois, babillage de 6 à 12 mois, premiers mots de 12 à

	Système d'étiquetage LENA			
	Adulte	Enfant	TV	Autre
Jugement de l'expert Humain				
Adulte	82	2	4	12
Enfant	7	76	0	17
TV	8	0	71	21
Autre	14	4	6	76

Tableau 1. Taux d'accord entre le jugement de l'expert humain et le système d'étiquetage LENA [1].

	Système d'étiquetage LENA	
	Îlots de Vocalisations	Pleurs/sons végétatifs
Jugement de l'expert Humain		
Îlots de Vocalisations	75	25
Pleurs/sons végétatifs	16	84

Tableau 2. Taux d'accord entre le jugement de l'expert humain et le système d'étiquetage LENA concernant la production vocale/et non vocale de l'enfant (îlots de vocalisation/pleurs/sons végétatifs [2]).

18 mois, explosion lexicale de 18 à 24 mois, explosion grammaticale de 24 à 36 mois, et stabilisation grammaticale de 36 à 48 mois. Ces enfants, au neurodéveloppement typique, ne présentaient pas non plus de pathologie sensorielle connue. Chaque groupe comprenait 3 enfants et chaque enfant était enregistré pendant 3 journées (ou sessions). Pour chaque session d'enregistrement réalisée, un échantillon d'une heure a été sélectionné puis transcrit par un expert humain, soit trois heures par participant. Nous avons transcrit au total 324 séquences de 10 minutes choisies de manière aléatoire en respectant toutefois deux critères : la présence de productions pour l'enfant et l'adulte et des tranches horaires susceptibles de favoriser les interactions (heures des repas par exemple). L'ensemble des échantillons a été vérifié par un second expert.

Plusieurs difficultés méthodologiques sont apparues. La première concerne le critère de proximité déterminé par l'appareil enregistreur LENA pour identifier les séquences intégrant le comptage des mots adultes. Il est en effet difficile de préciser clairement ce que LENA considère comme étant une production de l'adulte à proximité ou à distance de l'enfant. L'autre problème concerne l'identification de l'enfant lui-même. Ce dernier est facilement reconnaissable par l'expert, mais l'identification par LENA peut varier en fonction du positionnement de l'enregistreur. Enfin, dans le flux continu de parole, il a fallu déterminer des critères linguistiques pour la transcription des segments de parole permettant de définir ce qu'était un mot tout en essayant de limiter le nombre de règles à suivre pour les transcrip-teurs. Quatre règles principales ont été définies :

- Un mot est une unité linguistique contenant au minimum une syllabe.
- Dans le cas des mots composés, chaque unité pouvant apparaître seule

dans la langue est considérée comme un mot. Ex : pomme de terre = 3 mots.

- Les onomatopées, qui sont des signes linguistiques même si le lien entre signifiant et signifié n'est pas arbitraire, sont comptées comme des mots.
- Les imitations de l'adulte sont comptées comme des mots, la pause étant l'élément acoustique permettant de délimiter chaque mot Ex : bababababa = 1 mot mais bababa#baba = 2 mots. Les critères sont les mêmes pour les vocalisations de l'enfant se trouvant au stade pré-linguistique.

### Résultats

Nous avons d'abord vérifié le taux d'accord inter-juges, un second expert ayant retranscrit les séquences choisies. En comparant les comptages des deux experts, un excellent coefficient inter-juges a pu être obtenu. Nous avons ensuite procédé à la comparaison des comptages des mots produits par l'adulte et par l'enfant, obtenus par les experts et par le système. Le coefficient de corrélation pour l'ensemble des données (324 séquences de 10 minutes) est de .64 pour les mots de l'adulte et de .71 pour les productions de l'enfant [13].

Les résultats obtenus en fonction des groupes d'âge montrent que la corrélation établie entre les comptages automatiques proposés par le système LENA et ceux réalisés par l'expert est toujours significative pour les mots de l'adulte. Il faut cependant noter que la comparaison de la valeur moyenne des comptages montre clairement que l'expert compte systématiquement plus de mots que le système LENA. Avec un rapport  $\mu_{\text{lena}}/\mu_{\text{expert}}$  qui va de 1.05 pour la tranche d'âge 36-48 mois à 2.2 pour la tranche d'âge 18-24 mois.

Quant aux corrélations entre les comptages réalisés par l'expert humain et le système LENA pour les productions de l'enfant, le coefficient est aussi toujours significatif sauf pour la tranche d'âge 24-36 mois. Si l'on examine en

détail les données pour cette tranche d'âge on remarque très rapidement que les résultats obtenus pour l'un des participants sont différents de ceux obtenus pour les autres participants. Deux explications liées aux conditions bruyantes des crèches et aux contextes multi-locuteurs peuvent être avancées. Quand deux locuteurs parlent en même temps, le système LENA ne parvient pas à étiqueter correctement le segment [1;4]. Canault *et al.* (*in press*) [14] soulignent que la complexité du signal source (milieu bruyant et contexte multi-locuteurs) affecte la performance du système ce qui reste problématique pour les enregistrements en contexte naturel. En effet, l'écho et les effets de réverbération résultant de la taille de la pièce, du type de sol, de la localisation et les effets d'éloignement sont autant de facteurs susceptibles d'influencer l'intégrité du signal et par conséquent la fiabilité de la segmentation [1]. Canault *et al.* (2016) [13] ont aussi rapporté que les enregistrements en extérieur avaient, par exemple, une incidence importante sur la segmentation et par conséquent sur la fiabilité des comptages. Pour illustrer cela, les auteurs ont notamment pointé certaines confusions préjudiciables à la fiabilité de l'analyse automatique faites par le système. Dans l'un de leurs échantillons enregistré à l'extérieur, des chants d'oiseaux ont ainsi été reconnus comme des voix de femmes. Dans un contexte où plusieurs locuteurs interviennent, le système LENA ne fait pas la différence entre des locuteurs du même sexe contrairement à un auditeur humain.

### Discussion

#### Études utilisant le système LENA

Plusieurs méta-analyses ont été récemment publiées en présentant les principaux résultats des études qui utilisent le système LENA [14; 15]. Ce qui ressort de cette littérature, c'est que l'accès à l'environnement langagier auquel est exposé l'enfant est maintenant plus

facile à mesurer. Ceci est crucial car nous savons qu'il prédit le développement lexical, lequel conditionnerait la réussite scolaire. Les résultats longitudinaux de l'étude pionnière de Hart et Risley (1995) [16] pointant les relations entre le langage adressé aux enfants dès l'enfance et leurs performances scolaires ont en effet pu être reproduits par plusieurs études utilisant le système LENA dans des familles anglophones [7 ; 17] (Tableau 3). Hart et Risley (2003) [18] avaient montré que les enfants de 3 ans issus de familles pauvres ou de niveau socio-économique faible sont exposés à 30 millions de mots de moins que les enfants issus de familles de milieu favorisé et qu'ils sont davantage confrontés à l'échec scolaire.

Le système LENA a été aussi largement utilisé pour évaluer, suivre ou prédire le développement du langage chez le jeune enfant. L'étude de Gilkerson & Richards (2009) [7], donne une évaluation très précise du nombre quotidien de mots et de tours de parole dans la production des adultes et des enfants, et fournit des données d'étalonnage qui ont servi de référence à beaucoup d'autres études. Les parents ne parlent pas tous autant à leurs enfants : un enfant de deux ans peut entendre presque 30 000 mots par jour au 99<sup>e</sup> centile contre 6 000 au 10<sup>e</sup> centile, soit presque 5 fois moins ; la proportion est comparable en ce qui concerne le nombre de tours de parole. Une différence significative peut également être observée concernant le nombre de mots produits par l'enfant, soit 4 500 mots au 99<sup>e</sup> centile mais seulement le quart au 10<sup>e</sup> centile (Tableau 4).

Le nombre de tours de parole a un impact très positif sur le développement du langage de l'enfant [19].

#### Applications du système LENA en recherche clinique pédiatrique

Plusieurs études utilisant le système LENA ont été appliquées à la clinique de l'enfant en particulier chez les enfants

	Hart & Risley (1995) [16]	Gilkerson & Richards (2009) [7]	Greenwood et al. (2011) [17]
<b>Nombre de familles</b>	42	329	30
<b>Fréquence des sessions</b>	mensuelle	mensuelle	1 à 3 j/semaine
<b>Âge du suivi</b>	7-36 mois	24-48 mois	13-27 mois
<b>Durée des sessions</b>	1 heure	12 heures	12 heures

**Tableau 3. Comparaison des données de Hart & Risley (1995), Gilkerson & Richards (2009), Greenwood et al. (2011).**

Centile	Mots de l'adulte	Tours de parole	Mots de l'enfant
99	29 428	1 163	4 406
90	20 824	816	3 184
80	17 645	688	2 728
70	13 338	603	2 422
60	13 805	535	2 174
50	12 297	474	1 955
40	10 875	418	1 747
30	9 451	361	1 538
20	7 911	300	1 310
10	6 003	225	1 024

**Tableau 4. Répartition cumulée du nombre quotidien de mots et de tours de parole dans la production des adultes et des enfants à l'âge de 24 mois (Gilkerson & Richards, 2009) [7].**

présentant un trouble du spectre autistique (TSA). Oller *et al.* (2010) [2] ont enregistré durant près de 1 500 jours les vocalisations de 232 enfants âgés de 10 mois à 4 ans. Au total, plus de 3 millions de productions vocales ont été analysés. L'analyse s'est concentrée sur 12 paramètres acoustiques spécifiques associés au *babillage canonique*, cette capacité de l'enfant à prononcer des syllabes bien formées. En analysant chacun des « îlots de vocalisation détectés » et en l'ajustant à la productivité de l'enfant, ils l'ont comparé avec les résultats attendus en fonction de l'âge. Des différences ont pu être mises en évidence dans

86 % des cas. Les très jeunes enfants atteints d'autisme pourraient être donc mieux identifiés grâce la technologie d'analyse vocale du LENA. Ce type d'analyse ne pourra pas, bien entendu, se substituer à un diagnostic posé par un spécialiste, mais il peut offrir un outil de dépistage très précoce. Warren *et al.* (2010) [4] ont mis en évidence, qu'entre 16 et 48 mois, les enfants autistes étaient engagés dans 26 % d'interactions de moins que les enfants au développement typique et produisaient 29 % de vocalisations en moins. Il existerait, en outre, un lien entre l'augmentation des productions de l'enfant autiste et le

nombre de mots qu'il entend prononcer puisque, lorsqu'il se trouve en situation de forte stimulation, comme lors des séances de thérapie au cours desquelles le langage qui lui est adressé est plus dense, ses productions augmentent significativement. Thiemann-Bourque *et al.* (2014) [20] montrent que les enfants autistes sont exposés à 22 % de mots de moins que les enfants au développement typique de même qu'ils sont impliqués dans 137 tours de parole de moins. Le système a été utilisé également chez des enfants autistes scolarisés [21; 22]. L'utilisation du système LENA a été aussi appliquée dans trois études sur les enfants prématurés à risque biologique et social [23; 24; 25] et dans plusieurs études chez les enfants présentant une déficience auditive [26; 27; 28; 29]. Si les stimulations auditives appropriées jouent un rôle majeur dans le développement phonologique et lexical [30; 31], les résultats des études conduites par VanDam *et al.* (2012) [32], et Vohr *et al.* (2014) [33] vont dans ce sens. Ces auteurs ont montré que le nombre d'interactions et la richesse de l'environnement linguistique aident les enfants à développer le langage, en particulier au niveau réceptif. Le système LENA est également décrit comme un outil permettant d'évaluer des programmes d'intervention visant à améliorer l'interaction parent-enfant à plus ou moins long terme [34; 35].

### En bref

Afin de pouvoir réaliser des comptages automatiques (production et tours de parole), le système LENA s'appuie sur un modèle acoustique de reconnaissance automatique de la parole [7] qui permet de segmenter dans un premier temps le signal audio en différentes catégories selon qu'il s'agit de sons humains ou de sons provenant de l'environnement acoustique. Sur la base de critères acoustiques prédéfinis, le programme LENA peut repérer les productions d'un

homme adulte, d'une femme adulte, de l'enfant cible ou d'un autre enfant, mais aussi le bruit, les médias, les chevauchements, ou les silences et dissocie ce qui est produit à proximité de ce qui est produit à distance de l'enfant cible. Une estimation du nombre de mots dits au sein des séquences correspondant à des segments de parole est ensuite effectuée. Cette estimation est en moyenne 2 % plus faible que celle rapportée par les transcripateurs. L'explication avancée par les concepteurs est que le programme LENA élimine les chevauchements alors que l'oreille humaine est capable de dissocier des sources sonores différentes, retenant ce faisant davantage de séquences que la machine. On se doit de souligner que cette différence peut s'accroître largement dans certaines conditions, en particulier lors d'enregistrements réalisés en milieu bruyant ou bien en extérieur [36]. Toutefois, même si la complexité de l'environnement sonore affecte la précision des comptages automatiques et que des différences Homme-Machine ont pu être mises à jour, le système LENA apparaît comme un outil intéressant et prometteur aussi bien pour la clinique que pour la recherche fondamentale. Une fois connu et accepté l'écart entre les comptages humains et automatiques, LENA fournit en effet de précieuses indications sur l'évolution des productions linguistiques dans le temps, l'efficacité des projets thérapeutiques entrepris, et les différences entre groupes de patients explorés.

### BIBLIOGRAPHIE

[1] Xu D., *et al.* (2009). *Reliability of the LENA Language Environment Analysis system in Young Children's Natural Home Environment*. Boulder, CO: LENA Foundation. *Technical Report LTR-05-2*. Retrieved 6 December 2013 from <http://www.lenafoundation.org/TechReport.aspx/Reliability/LTR-05-2>.

[2] Oller, D. K., *et al.* (2010). Automated vocal analysis of naturalistic recordings from children with autism, language delay, and typical development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(30), 13354-13359. doi:10.1073/pnas.1003882107

[3] Burgess, S., *et al.* (2013). Quantitative and qualitative characteristics of the school and home language environments of preschool-aged children with ASD. *Journal of Communication Disorders*, 46(5-6), 428-439. doi: 10.1016/j.jcomdis.2013.09.003

[4] Warren, S. F., *et al.* (2010). What automated vocal analysis reveals about the vocal production and language learning environment of young children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40(5), 555-569. doi:10.1007/s10803-009-0902-5

[5] Gilkerson, J., *et al.* (2015). Evaluating LENA System performance for Chinese: A pilot study in Shanghai. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 58(2), 445-452. doi: 10.1044/2015\_JSLHR-L-14-0014

[6] Zhang Y. (2013). The correlation of family responsiveness with language and cognitive development in infants and toddlers. Paper presented at: LENA International Conference ; Denver, CO, April 29, 2013

[7] Gilkerson, J., & Richards J. A. (2009), *The Power of Talk: Impact of Adult Talk, Conversational Turns, and TV during the Critical 0-4 Years of Child Development*, Boulder, LENA Research Foundation, *LENA Technical Report: ITR-01-2*.

[8] Jackson, C. W. (2013). Spanish-English speaking preschoolers: An exploratory study examining LENA data. Paper presented at the LENA International Conference 2013, Denver, CO.

[9] Pae, S., *et al.* (2016). Effects of feedback on parent-child language with infants and toddlers in Korea. *First Language*, DOI: 10.1177/0142723716649273.

[10] Aldosari, M., *et al.* (2012). Validation of Language Environment Analysis (LENA) in Arabic-speaking individuals. Poster session presented at the International Meeting for Autism Research, Toronto, Ontario, Canada.

[11] Ganek, H. & Eriks-Brophy, A. (2013). Questions in using LENA with Vietnamese and Canadian children with hearing loss. Poster session presented at the LENA International Conference, Denver, CO.

[12] Weisleder, A., & Fernald, A. (2013). Talking to children matters: Early language experience strengthens processing and builds vocabulary. *Psychological Science*, 24(11), 2143-2152. doi: 10.1177/0956797613488145

[13] Canault, M., *et al.* (2016). Reliability of the Language ENvironment Analysis system (LENA™) in European French. *Behavior Research Methods*, 48(3), 1109-1124. doi: 10.3758/s13428-015-0634-8

[14] Canault, M., *et al.* (in press). LENA™ (Language ENvironment Analysis System) : un système de reconnaissance automatique de la parole et de l'environnement langagier de l'enfant, *Enfance*, 2

[15] Ganek, H. & Eriks-Brophy, A. (2016). The Language ENvironment Analysis (LENA) System: A Literature Review, *Proceedings of the joint workshop on NLP for Computer Assisted Language Learning and NLP for Language Acquisition at SLTC 2016*. Linköping Electronic Conference Proceedings 130: 24-32.

[16] Hart, B. & Risley, T. (1995). *Meaningful differences in the everyday experience of young American children*. Baltimore: Brookes.

[17] Greenwood, C. R., *et al.* (2011). Assessing children's home language environments using automatic speech recognition technology. *Communication Disorders Quarterly*, 32(2), 83-92. doi: 10.1177/1525740110367826

- [18] Hart, B. & Risley, T.R. (2003). The Early Catastrophe: The 30 Million Word Gap by Age 3. (2003, spring). *American Educator*, pp.4-9. <http://www.aft.org/sites/default/files/periodicals/TheEarlyCatastrophe.pdf>
- [19] Zimmerman, F. J., et al. (2009). Teaching by listening: The importance of adult-child conversations to language development. *Pediatrics*, 124(1), 342-349. doi:10.1542/peds.2008-2267.
- [20] Thiemann-Bourque, K. S., et al. (2014). Vocal interaction between children with Down syndrome and their parents. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 23, 437-447. doi: 10.1044/2014\_AJSLP-12-0010
- [21] Dykstra, J., et al. (2012). Using the Language Environment Analysis (LENA) system in preschool classrooms with children with autism spectrum disorders. *Autism*, 17(6), 582-594. doi: 10.1177/1362361312446206
- [22] Irvin, D. W., et al. (2013). Child and classroom characteristics associated with the adult language provided to preschoolers with autism spectrum disorder. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 7(8), 947-955. doi: 10.1016/j.rasd.2013.04.004
- [23] Caskey, M., et al. (2011). Importance of parent talk on the development of preterm infant vocalizations. *Pediatrics*. Online publication. doi:10.1542/peds.2011-0609
- [24] Caskey, M., & Vohr, B. (2013). Assessing language and language environment of high risk infants and children: A new approach. *Acta Paediatrica*, 102(03), 1-11. doi: 10.1111/apa.12195
- [25] Caskey, M., et al. (2014). Adult talk in the NICU with preterm infants and developmental outcomes. *Pediatrics*, 133(3), 1-7. doi: 10.1542/peds.2013-0104
- [26] Yoshinaga-Itano, C., et al. (1998). Language of early- and later-identified children with hearing loss. *Pediatrics*, 102(5), 1161-1171.
- [27] Aragon, M., & Yoshinaga-Itano, C. (2012). Using Language ENvironment Analysis to improve outcomes for children who are deaf or hard of hearing. *Seminars in Speech and Language*, 33(04), 340-353. doi:10.1055/s-0032-1326918
- [28] VanDam, M. (2014). Acoustic characteristics of the clothes used for a wearable recording device. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 136(4). doi: <http://dx.doi.org/10.1121/1.4895015>
- [29] Charron, C., et al. (2016). Language ENvironment Analysis (LENA) with children with hearing loss: A clinical pilot. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, 40(1), 93-104
- [30] Desjardin, J.L., et al. (2009). Literacy skills in children with cochlear implants: The importance of early oral language and joint storybook reading. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 14, 22-43.
- [31] Farran, L.K., et al. (2009). Maternal input and lexical development: the case of deaf pre-schoolers. *International Journal of Language and Communication Disorders*, 44, 145-153. doi: 10.1080/13682820801973404.
- [32] VanDam, M., et al. (2012). Quantity of parental language in the home environments of hard-of-hearing 2-year-olds. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 17(4), 402-420. doi:10.1093/deafed/ens025
- [33] Vohr, B. R., et al. (2014). The importance of language in the home for school-age children with permanent hearing loss. *Acta Paediatrica*, 103(1), 62-69. doi:10.1111/apa.12441
- [34] Zhang, Y., et al. (2015). Effects of quantitative linguistic feedback to caregivers of young children: A pilot study in China. *Communication Disorders Quarterly*, 37(1), 16-24. doi: 10.1177/1525740115575771
- [35] Suskind, D. L., et al. (2015). A parent-directed language intervention for children of low socioeconomic status: A randomized controlled pilot study. *Journal of Child Language*. Advance online publication. doi: 10.1017/S0305000915000033
- [36] Canault, M. & Thai-Van H. (2013) Validation of the Language ENvironment Analysis System in French: Data Quality and Associated Factors. Communication orale, LENA International Conference, Denver, USA, 29 avril 2013.