

LENATM (LANGUAGE ENVIRONMENT ANALYSIS SYSTEM) : UN SYSTÈME DE RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE DE LA PAROLE ET DE L'ENVIRONNEMENT LANGAGIER DE L'ENFANT

Mélanie Canault, Marie-Thérèse Le Normand, Hung Thai Van

NecPlus | « [Enfance](#) »

2017/2 N° 2 | pages 199 à 216

ISSN 0013-7545

Article disponible en ligne à l'adresse :

<https://www.cairn.info/revue-enfance2-2017-2-page-199.htm>

Pour citer cet article :

Mélanie Canault *et al.*, « LENATM (Language ENvironment Analysis System) : un système de reconnaissance automatique de la parole et de l'environnement langagier de l'enfant », *Enfance* 2017/2 (N° 2), p. 199-216.
DOI 10.4074/S0013754517002038

Distribution électronique Cairn.info pour NecPlus.

© NecPlus. Tous droits réservés pour tous pays.

La reproduction ou représentation de cet article, notamment par photocopie, n'est autorisée que dans les limites des conditions générales d'utilisation du site ou, le cas échéant, des conditions générales de la licence souscrite par votre établissement. Toute autre reproduction ou représentation, en tout ou partie, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit, est interdite sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France. Il est précisé que son stockage dans une base de données est également interdit.

LENATM (Language ENVIRONMENT Analysis System) : un système de reconnaissance automatique de la parole et de l'environnement langagier de l'enfant

Mélanie CANAULT¹, Marie-Thérèse LE NORMAND²
et Hung THAI VAN³

RÉSUMÉ

LENA est un système permettant un enregistrement audio continu sur une journée, puis la segmentation et l'analyse du traitement automatique du signal acoustique. L'algorithme de la reconnaissance de la parole développé par les concepteurs du système LENA permet de délivrer des informations importantes sur la parole perçue par l'enfant au neurodéveloppement typique, à risque (milieu socioéconomique défavorisé), ou atypique (enfant présentant une déficience auditive, une prématurité ou un trouble du spectre autistique). Les études utilisant ce système ont explosé ces cinq dernières années et confirment son intérêt technologique, notamment dans le domaine de l'intervention. La recherche fondamentale sur la parole et le langage commence aussi à entrevoir l'intérêt des fonctionnalités de cet outil qui permet d'une part une automatisation des nombreux comptages sur lesquels s'appuient les études quantitatives portant à la fois sur les productions de l'enfant et sur la perception de la parole qu'il entend, et d'autre part parce qu'il constitue une aide non négligeable à la transcription de corpus denses. Cette méta-analyse recense les avantages et les limites du système LENA (*Langage ENVIRONMENT Analysis*), ses applications dans les domaines de la recherche clinique et fondamentale et ses perspectives.

MOTS-CLÉS : LENA (LANGUAGE ENVIRONMENT ANALYSIS SYSTEM), DÉVELOPPEMENT DU LANGAGE, ENVIRONNEMENT LANGAGIER, APPLICATION CLINIQUE, AIDE À LA TRANSCRIPTION

1 Laboratoire Dynamique du Langage UMR 5596 CNRS, Université Lumière Lyon 2 DDL-ISH, 14 av. Berthelot, F-69363 Lyon Cedex 7. *Email*: melanie.canault@univ-lyon1.fr

2 Laboratoire de Psychopathologie et Processus de Santé (LPPS, EA 4057), Institut de Psychologie, Université Paris Descartes, Sorbonne Paris Cité, 71 avenue Edouard Vaillant, 92100 Boulogne-Billancourt. *Email*: marie-therese.le-normand@parisdescartes.fr

3 Service d'Audiologie & d'Explorations Orofaciales, Hospices Civils de Lyon1 & Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon, INSERM, U1028 CNRS UMR 5292 CHU Lyon, Groupement Hospitalier Édouard Herriot, 5 place d'Arsonval, 69437 Lyon cedex 03. *Email*: hthaiivan@gmail.com

ABSTRACT

LENA™ (Language ENvironment Analysis System) : an automated speech recognition system and child language environment

LENA (Language ENvironment Analysis) is a daylong recording system, allowing speech segmentation and automated processing. The algorithm of LENA provides information about speech perception and interaction not only in children with typical development but also in children at risk (e.g, low socioeconomic status) or with atypical development (e.g, Hearing Impairment, Preterm birth, Autism Spectrum Disorder). Over the past five years, a growing number of empirical studies have reported LENA effectiveness, particularly in the field of language intervention. Basic research on language disorders in children is now providing evidence that the acoustic algorithm of LENA can be of help. On one hand, it can provide a series of automated counts on which quantitative studies about child speech production or perception are based, and, on the other hand, it can be of significant help for transcribing large corpora. This overview on LENA provides its advantages and limitations, its applications for basic and clinical research and its perspectives.

KEY-WORDS: LENA (LANGUAGE ENVIRONMENT ANALYSIS SYSTEM), LANGUAGE DEVELOPMENT, LINGUISTIC FEEDBACK, CLINICAL APPLICATION, ASSISTANCE TO TRANSCRIPTION

Depuis une dizaine d'années, le système LENA est régulièrement utilisé dans des travaux psycholinguistiques portant sur le développement du langage qui prennent en compte les facteurs de l'environnement acoustique et langagier de l'enfant. LENA représente à ce jour une des alternatives permettant de recueillir de manière intensive et plus écologique des données audio chez l'enfant et d'analyser le signal acoustique via des algorithmes de traitement automatique de la parole. Cet outil, largement utilisé dans les pays anglophones, semble présenter de réels bénéfices pour la recherche clinique et fondamentale. Notre objectif est donc de rendre compte, à travers une revue de la littérature, de ses différentes possibilités. Nous présenterons tout d'abord le système, puis nous en décrirons ses avantages ainsi que ses limites, tant pour la recherche clinique que pour la recherche fondamentale. Enfin, nous aborderons ses perspectives d'évolution.

1. QU'EST-CE QUE LE SYSTÈME LENA™ ?

Ce système est constitué d'un enregistreur et d'un logiciel. L'enregistreur présente plusieurs avantages. Très léger et de petite taille, il se place directement sur l'enfant sans que la nature des vêtements n'affecte la qualité du signal acoustique (VanDam, 2014). Il permet ainsi d'acquérir des données de bonne qualité sur une durée pouvant aller de 10 heures à 16 heures sans que la présence d'un expérimentateur ne soit nécessaire (Christakis, Gilkerson, Richards, Zimmerman, Garrison *et al.*, 2009; Warren, Gilkerson, Richards, Oller, Xu, Yapanel *et al.*, 2010; Xu, Yapanel, Gray, Gilkerson, Richards & Hansen, 2008; Xu, Yapanel, & Gray, 2009; Zimmerman, Gilkerson, Richards, Christakis, Xu, Gray *et al.*, 2009). Ces données sont ensuite transférées et analysées automatiquement par un programme informatique, lequel fournit des bilans visualisables sur le Nombre de mots de l'adulte (AWC), le Nombre de vocalisations de l'enfant (CVC), le Nombre de tours de parole (CT) et la durée d'exposition aux médias électroniques (télévision, radio et autres objets électroniques interactifs).

Pour arriver à ces calculs rapides, le logiciel LENA s'appuie sur un modèle acoustique de reconnaissance automatique de la parole (Gilkerson & Richards, 2008) 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. Le système repère ainsi les voix d'homme adulte, de femme adulte, de l'enfant cible ou d'autres enfants, 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 (voir Fig. 1).

La comparaison de segmentations réalisées en parallèle par LENA et par un expert humain montre un taux d'accord de 82% pour les productions de l'adulte, 76% pour celles de l'enfant et 71% pour la reconnaissance des médias (par ex., TV) (Xu *et al.*, 2009).

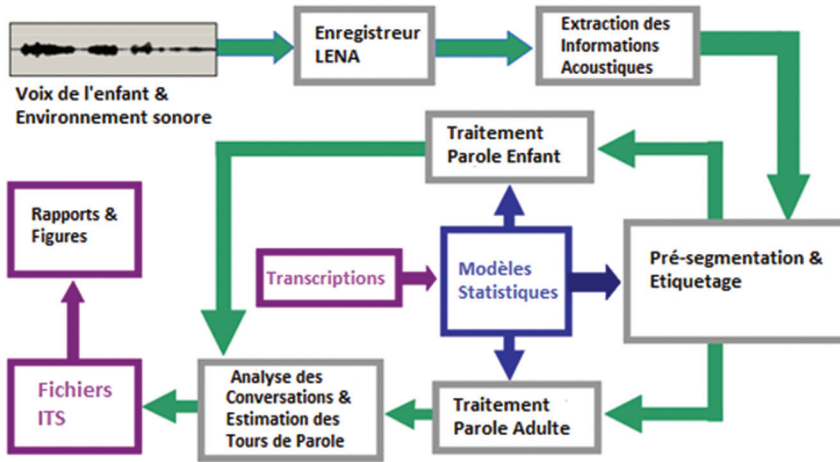


Figure 1.

Fonctionnement général du système LENA (d'après Ford, Baer, Xu, Yapanel, & Gray, 2009)

2. INTÉRÊT DES TECHNOLOGIES AUTOMATISÉES DE RECONNAISSANCE DE LA PAROLE COMME LE SYSTÈME LENA POUR LA RECHERCHE CLINIQUE

Que ce soit en termes de quantité (Hart & Risley, 1995; Huttenlocher, Haight, Bryk, Seltzer, & Lyons, 1991; Huttenlocher, Waterfall, Vasilyeva, Vevea, & Hedges, 2010), de qualité (Cartmill, Armstrong, Gleitman, Goldin-Meadow, Medina, & Trueswell, 2013; Pan, Rowe, Spier, & Tamis-LeMonda, 2004; Pan, Rowe, Singer, & Snow, 2005), de diversité (Huttenlocher *et al.*, 2010), de fréquence des mots (Weizman & Snow, 2001), de langage décontextualisé (Snow, Tabors, & Dickinson, 2001), l'environnement et les interactions sociales influencent le développement du langage (Braine, 1994; Rowe, 2012; Snow, 1994).

L'intérêt des systèmes de reconnaissance de la parole, comme LENA, est donc double pour la recherche clinique. Ils peuvent d'une part, améliorer ou confirmer rapidement les connaissances sur l'environnement langagier adressé aux populations à risque et au développement atypique et d'autre part, constituer un support utile pour guider les familles à adapter leurs comportements lorsque cela s'avère nécessaire.

a) Une meilleure connaissance des populations atypiques

La possibilité d'obtenir rapidement des renseignements sur l'environnement du langage perçu par l'enfant ouvre ainsi des perspectives en matière de recommandations et d'intervention sur le langage des populations à risque ou atteintes de troubles du développement (Caskey & Vohr, 2013; Weil & Middleton, 2010). On sait aussi qu'un accès dégradé à l'input, comme c'est le cas pour les populations d'enfants présentant des déficiences auditives, a une incidence sur le

développement du langage (Briscoe, Bishop, & Norbury, 2001; Stoel-Gammon, 1988; Yoshinaga-Itano, Sedey, Coulter, & Mehl, 1998), et que la quantité et la qualité des stimulations joueront un rôle majeur dans le développement phonologique ou lexical (Desjardin, Ambrose, & Eisenberg, 2008, Farran, Ledesberg, & Jackson, 2009). Des études récentes utilisant le système LENA montrent en effet que le nombre d'interactions et la richesse de l'environnement linguistique aident l'enfant à développer ses capacités langagières tant sur le versant réceptif (VanDam, Ambrose, & Moeller, 2012; Vohr, Topol, Watson, St Pierre, & Tucker, 2014) que sur le versant expressif (Ambrose, VanDam, & Moeller, 2014; Vohr *et al.*, 2014). Un accès direct à ces données environnementales permettrait donc d'agir directement sur l'amélioration du langage chez ces enfants (Aragon & Yoshinaga-Itano, 2012). Dans le même ordre d'idée, Caskey, Stephens, Tucker et Vohr (2011) et Caskey, Stephens, Tucker et Vohr (2014), en examinant des enfants prématurés, ont montré qu'une bonne exposition au langage parental prédit la richesse des vocalisations et des interactions de l'enfant.

D'autres travaux se sont intéressés aux enfants présentant un trouble du spectre autistique. Bien que le langage adressé à l'enfant soit crucial pour le développement communicatif de cette population (Irvin, Hume, Boyd, McBee, & Odom, 2013; Siller & Sigman, 2002), les informations disponibles dans ce domaine sont peu nombreuses. En s'appuyant en partie sur les bilans informatisés fournis par LENA, Thiemann-Bourque, Warren, Brady, Gilkerson et Richards (2014) montrent ainsi que les enfants autistes sont exposés à 22% de mots de moins que les enfants tout-venant de même qu'ils sont impliqués dans 137% de tours de parole de moins. Au niveau de la production, contrairement à ce qui était attendu, les enfants au développement typique ne vocalisent pas significativement plus que les enfants autistes à un stade précoce (9-11 mois). La différence se creuserait plus tard entre 25 et 54 mois, notamment parce que les enfants autistes n'augmentent pas le nombre de leurs vocalisations entre ces deux stades, contrairement aux autres enfants. Warren *et al.* (2010) avaient eux aussi mis en évidence, toujours par le biais de ce système, qu'entre 16 et 48 mois, les enfants autistes étaient engagés dans 26% d'interactions de moins que les enfants tout-venant et produisaient 29% de vocalisations de moins qu'eux. 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 (Warren *et al.*, 2010). Par ailleurs, la nature des vocalisations du jeune autiste conditionnerait les réponses de l'adulte et inversement. En effet, l'adulte répondrait plus à l'enfant quand celui-ci produit des séquences identifiées comme étant de la parole et les productions de ce dernier se rapprocheraient plus des caractéristiques de la parole s'il a reçu une réponse de l'adulte au préalable (Warlaumont, Richards, Gilkerson, & Oller, 2014). Enfin, Burgess, Audet et Harjusola-Webb (2013) ont cherché à décrire les caractéristiques de l'environnement à la fois scolaire et familial de 10 enfants âgés de 35 à 67 mois au

début de l'investigation grâce au recueil de longs échantillons de langage durant 1 an. Ils ont découvert que les deux environnements étaient relativement proches dans le sens où une majorité des énoncés de l'adulte produits en présence de l'enfant cible lui étaient adressés (50% à l'école et 62% à la maison).

b) Une meilleure objectivation du rôle de l'environnement et du langage perçu et produit par l'enfant et ses interlocuteurs

Il est maintenant largement reconnu que l'environnement langagier auquel est exposé l'enfant est un très bon prédicteur du développement lexical, lequel conditionnerait la réussite scolaire. On estime, par exemple, 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 (Hart & Risley, 2003) et que ceux-ci sont davantage confrontés à l'échec scolaire.

Les systèmes de reconnaissance de la parole comme LENA, peuvent alors trouver leur place dans des programmes d'intervention visant à améliorer l'interaction parent-enfant à plus ou moins long terme. Suskind, Leffel, Hernandez, Sapolich, Suskind, Kirkham *et al.* (2016) ont ainsi recruté 23 enfants âgés de 1,5 à 3 ans et leurs mères. Ces dyades ont été réparties en deux groupes. Le premier groupe a suivi un programme d'intervention au cours duquel les mères ont été sensibilisées aux facteurs favorisant le développement du langage et ont reçu des recommandations pour améliorer les interactions avec leur enfant ainsi que des informations quantitatives issues des rapports LENA. Le second groupe n'a pas suivi de programme d'intervention. Indépendamment du groupe auxquels ils appartenaient, tous les enfants ont été enregistrés une fois par semaine pendant 8 semaines consécutives, puis 1 fois 1 semaine plus tard et 1 dernière fois 4 semaines après. Plusieurs types de données ont été recueillis : des questionnaires pour tester les connaissances parentales, des vidéos afin d'analyser les interactions et calculer la maturité syntaxique objectivée par la Longueur moyenne des énoncés (LME), le nombre de mots produits et le nombre de mots différents produits par l'enfant et l'adulte, et enfin les données chiffrées issues des rapports LENA (AWC, CT et CVC). Une comparaison des résultats obtenus avant l'intervention et 1 semaine après celle-ci montre une augmentation significative des connaissances des parents du premier groupe sur le développement du langage ainsi qu'une forte progression de la variabilité des mots utilisés par les mères et les enfants de ce groupe. Les bilans issus de LENA présentent également une augmentation largement significative des mots produits par l'adulte (AWC), des tours de parole (CT) et des productions de l'enfant (CVC) au cours de l'intervention. Même si ces progressions ne se maintiennent pas dans le temps, les moyennes finales restent cependant toujours plus élevées 4 semaines après l'intervention par rapport à celles observées au début de l'étude. Une étude de ce type a également été conduite par Zhang, Xu, Jiang, Gilkerson, Xu, Richards et Topping (2015) en Chine. Ces chercheurs ont suivi pendant 6 mois 22 enfants âgés de 5 à 30 mois et leurs familles au cours d'un programme d'intervention axé sur le bilan quantitatif hebdomadaire

des comportements langagiers au sein de l'environnement familial à l'aide du système LENA. Les données quantitatives délivrées par LENA ont été compilées à trois stades : au début du programme, à 3 mois (1 à 3 mois) et à la fin du programme (4 à 6 mois) et complétées par des évaluations linguistiques (*Bayley Scales of Infant Development* – BSID, Bayley, 2006; *MacArthur-Bates Communicative Development Inventories* – MCDI, Fenson, Marchman, Thal, Dale, Reznick, & Bates, 2007; *Minnesota Child Development Inventory* – CDI, Ireton, 1992). Les parents présentant les AWC les plus faibles au début du programme ont significativement augmenté leurs productions à la fin de celui-ci. Il apparaît par ailleurs, pour l'ensemble de la population, que le nombre de tours de parole est positivement corrélé aux changements de scores observés pour le MCDI Verbal et le CDI (versant expressif) à 3 mois, mais pas à 6 mois.

Tous les acteurs de la petite enfance prenant en charge l'enfant peuvent alors avoir un rôle à jouer dans le processus de développement de son langage si elles y sont sensibilisées (Soderstrom & Wittebolle, 2013). Suskind, Leffel, Hernandez, Sapolich, Suskind, Kirkham, *et al.* (2013) ont, par exemple, pu tester l'impact positif d'une intervention unique sur le comportement communicatif de 17 assistantes maternelles s'occupant d'enfants âgés de 10 à 40 mois. Une progression significative des mots qu'elles produisaient (AWC) et des interactions (CT) sont mises en évidence. En moyenne, l'assistante maternelle produisait 395 mots de plus en une heure et 14 tours de parole étaient initiés sur une période équivalente, soit des augmentations respectives de 31,6% et de 24,9%.

La portée de tels résultats est alors assez intéressante, car il devient possible de quantifier l'impact de certaines activités jugées stimulantes, et d'axer des interventions parentales sur ce type d'activités. Gilkerson, Richards et Topping (2015) montrent, en effet, que durant une activité de lecture, le nombre de mots de l'adulte produits par minute augmente de 148% par rapport au reste de la journée, et le nombre de tours de parole de 64% par minute. Dans une autre mesure, les enseignants peuvent aussi être concernés par cet outil. Wang, Pan, Miller et Cortina (2014) valident la possibilité de classer les activités liées à l'oral au sein d'une salle de classe (par exemple : lecture, enseignement et discussion collective) à partir des prétraitements générés par LENA et en s'appuyant sur des indices tels que la proportion de temps de parole de l'enseignant et celle de l'enfant, le pourcentage de temps de chevauchement et de silence ainsi que sur l'intensité du signal.

3. LE RECUEIL ET LE TRAITEMENT DES DONNÉES NATURELLES ACCESSIBLES À LA RECHERCHE FONDAMENTALE

Le recueil de données de masse en contexte naturel est un moyen d'investigation que les chercheurs visent à utiliser depuis de nombreuses années. Pourtant, pour des raisons techniques, les enregistrements de la vie quotidienne sont généralement limités : étant le plus souvent de courte durée, ils ne sont ni représentatifs de ce qu'est en mesure de produire l'enfant, ni de l'environnement

dans lequel celui-ci évolue. Les protocoles d'enregistrement audio doivent, par ailleurs, répondre à certaines contraintes matérielles. La plupart du temps, l'objectif de l'expérimentateur est de mettre au point un système d'acquisition des données qui ne soit pas invasif et qui préserve la qualité des enregistrements. Or les systèmes fixes vont limiter les déplacements de l'enfant et les systèmes mobiles, généralement portés par l'enfant, peuvent altérer la qualité du signal à cause des bruits de frottement des vêtements. Chaque expérimentateur doit donc redoubler d'ingéniosité pour acquérir un maximum de données de bonne qualité. Enfin, le traitement de ces données reste quant à lui extrêmement fastidieux et chronophage, même pour réaliser de simples comptages de mots. Il faut, en effet, localiser les productions de l'enfant, les différencier de celles qui lui sont adressées par son entourage, surtout lorsqu'il se trouve face à plusieurs interlocuteurs, les transcrire, puis analyser leur contenu. Toutes ces contraintes limitent ainsi le nombre de sujets à l'inclusion et la quantité des données recueillies.

On trouve toutefois des études impliquant de gros corpus dès la fin des années 1970 et au début des années 1980. On peut notamment citer les travaux de Wells (1979) dont l'objectif était d'établir une description du développement linguistique du jeune enfant : 128 enfants ont participé à ces travaux, la moitié était âgée de 15 mois au début de l'investigation et l'autre moitié de 39 mois. Ces enfants ont été enregistrés pendant 9 heures durant plus de deux ans. Les enregistrements ont été réalisés à l'aide d'un enregistreur porté par l'enfant et programmé pour enregistrer des séquences de 90 secondes toutes les 20 minutes. Le nombre de participants rend cette étude exceptionnelle, mais la volonté de considérer les productions de l'enfant au sein de son environnement n'est pas totalement respectée dans la mesure où il est question de plages d'acquisition ponctuelles relativement courtes. Quelques années plus tard, Korman (1984) a réalisé des enregistrements de 24 heures dans le but de spécifier les caractéristiques des productions orales maternelles adressées à l'enfant. Cette fois, seules 6 familles d'enfants âgés de 6 à 16 semaines ont pu être suivies.

L'étude la plus célèbre ayant allié un grand nombre de sujets à une quantité importante de données est celle de Hart et Risley (1995). Cette étude montre le lien étroit existant entre le flux de langage adressé à l'enfant dès son plus jeune âge et sa réussite scolaire. Quarante-deux familles ont été suivies depuis les 7 mois jusqu'aux 36 mois de leur enfant et ont été enregistrées à raison d'une heure par mois, ce qui représente un total de 1 318 heures intégralement retranscrites.

Ce type d'étude est rare et difficile à répliquer et pour parer à ces difficultés, des bases de données internationales comme CHILDES (*Child Language Data Exchange System*) ont vu le jour (MacWhinney, 2000). Le partage des données de parole transcrites d'enfants typiques et atypiques avec leurs alignements audio et/ou vidéo et l'alimentation permanente de ces bases de données est une initiative très profitable à la communauté scientifique, mais qui reste aujourd'hui insuffisante.

Grâce aux développements de la technologie et celui de la reconnaissance automatique de la parole, de nouveaux outils émergent. Récemment, *Human*

Speechome Project a permis à Roy, Frank, DeCamp, Miller et Roy (2015) de suivre quotidiennement un enfant au développement typique, de sa naissance à ses 3 ans, à l'aide de caméras installées dans toutes les pièces de sa maison et activées 10 heures par jour. Un total de 200 000 heures d'enregistrements audio et vidéo a été recueilli et un logiciel automatisé de transcription de la parole a spécialement été conçu. Toutefois, sa fiabilité ne s'est avérée être que de 20 %. Les auteurs se sont alors lancés dans une transcription manuelle de près de deux millions de phrases.

LENA ne génère pas de transcription, mais les informations quantitatives sur l'environnement de l'enfant délivrées par les rapports peuvent représenter une alternative à celle-ci pour tous les travaux impliquant des comptages de mots ou de vocalisations. Grâce à ce dispositif, l'étude de Greenwood, Thiemann-Bourque, Walker, Buzhardt et Gilkerson (2011) a ainsi pu répliquer les résultats des travaux de transcription de Hart et Risley (1995). L'augmentation du nombre de participants à l'inclusion apparaît alors tout à fait envisageable et compatible avec le recueil de très grands corpus. Citons aussi l'étude de Zimmerman *et al.* (2009) qui présente une population de 275 familles enregistrées mensuellement pendant 12h durant 6 mois parmi lesquelles 80 ont pu être suivies 18 mois. Ses auteurs ont ainsi montré que les interactions ont les incidences les plus positives sur le développement du langage de l'enfant. On peut également citer les travaux de Christakis *et al.* (2009) qui pointent l'impact négatif de l'exposition à la TV grâce à l'observation des comportements langagiers de 329 enfants enregistrés un jour par mois durant 1 à 24 mois selon les sujets.

Nous avons par ailleurs précisé que LENA repérait dans sa pré-segmentation le type de locuteur engagé (Homme/Femme/Enfant). Il est alors possible de faire interagir ces informations et celles des comptages automatiques sur de grands échantillons. Johnson, Caskey, Rand, Tucker et Vohr (2014) ont suivi 81 enfants et leurs parents pour travailler sur les interactions « enfant-parent » de 33 d'entre eux, ces derniers ayant tous pu être enregistrés 16 heures à trois stades, à savoir à la naissance, à 44 semaines et à 7 mois. Ces chercheurs ont montré que les enfants étaient plus exposés aux productions féminines. Les femmes répondent plus fréquemment aux vocalisations de leur enfant et ces derniers préfèrent leur répondre. De manière générale, les mères répondent plus aux filles et les pères aux garçons. Dans un objectif proche, Ramírez-Esparza, García-Sierra et Kuhl (2014) ont mis en relation le style de parole perçu par l'enfant (*motherese vs. fatherese*) et le contexte social de l'input langagier (interaction 1/1 ou interaction en groupe) pour vérifier l'impact de ces variables sur les développements langagiers de 26 enfants. Ces enfants ont été répartis en 2 groupes d'âge, 11 mois et 14 mois, et ont été enregistrés 8 heures par jour pendant 4 jours consécutifs. Lorsque l'enfant était âgé de 24 mois, les parents ont également rempli le questionnaire *MacArthur-Bates Communicative Development Inventory*, lequel permet d'évaluer le développement lexical de l'enfant en production et en compréhension (Fenson *et al.*, 2007). Un des résultats apportés par cette étude est que l'interaction impliquant l'enfant et un seul adulte, est positivement corrélée avec la production de mots à 24 mois.

Pour résumer, dans certains contextes d'étude, les données de LENA semblent donc directement exploitables, mais dans d'autres, comme par exemple les études faisant intervenir des paramètres comme le type de mots, l'intervention humaine reste nécessaire. Dans ces cas, LENA ne s'avère pas pour autant inutile dans la mesure où il peut constituer une aide réelle à la transcription et au traitement des gros corpus. La pré-segmentation effectuée en amont des comptages automatiques est exportable *via* des outils de transcription comme Transcriber ou ceux du CHILDES. Cela signifie qu'il est possible de localiser automatiquement les portions de production pertinentes sur de très gros corpus sans avoir à réécouter l'intégralité de l'enregistrement.

4. LES LIMITES DU SYSTÈME

Malgré les nombreux avantages que nous avons mis en évidence, le système LENA présente plusieurs limites.

Il faut rappeler que ce système a été conçu à partir de l'anglais (Christakis *et al.*, 2009; Gilkerson & Richards, 2008; Oetting, Hartfield & Pruitt, 2009; Warren *et al.*, 2010; Xu *et al.*, 2008, Xu *et al.*, 2009; Zimmerman *et al.*, 2009). Chaque langue possédant des caractéristiques phonétiques, prosodiques et acoustiques spécifiques, leur diversité rend très difficile la définition de paramètres pouvant aboutir à une généralisation du comptage des unités linguistiques (Pellegrino, Coupé, & Marsico, 2011). Des validations de ce système existent pour le chinois et le mandarin (Gilkerson, Zhang, Xu, Richards, Xu, Jiang *et al.*, 2015; Zhang, 2013), le français (Canault & Thai Van, 2013; Canault, Le Normand, Foudil, & Thai Van, 2016), l'espagnol (Gilkerson & Richards, 2009; Jackson, 2013); et des travaux sont en cours pour le Coréen (Pae, 2013), l'arabe (Aldosari, Almuslanani, Wilson, & Gilkerson, 2012) et des études utilisant le système comme moyen d'investigation commencent à émerger dans des langues comme le Vietnamien (Ganek & Eriks-Brophy, 2013), l'espagnol (Weisleder & Fernald, 2013) ou des environnements trilingues (Oller, 2010).

Néanmoins, ces études rapporte des taux de fiabilité différents en fonction des langues et des variables et ne suivent pas systématiquement la même méthodologie. En effet, ces différentes validations s'appuient sur des échantillons audio de tailles différentes pouvant aller de 15 minutes (Gilkerson *et al.*, 2015) à une heure par sujet (Gilkerson & Richard, 2008) et par jour d'enregistrement (Canault *et al.*, 2016); et sur des populations plus ou moins grandes : le nombre minimal de sujets inclus étant de 10 (Weisleder & Fernald, 2013) et le nombre maximal de 70 (Gilkerson & Richard, 2008). Ainsi, la durée totale des échantillons servant de base à la comparaison va de 5,5 heures (Gilkerson *et al.*, 2015) à 70 heures (Gilkerson & Richard, 2008). Par ailleurs, les principaux paramètres testés sont le comptage des mots de l'adulte (AWC), le nombre de vocalisations de l'enfant (CVC) et les tours de parole (CT), mais les résultats obtenus diffèrent d'une étude à l'autre et d'un paramètre à l'autre. AWC et CVC sont les variables qui présentent les meilleurs taux d'accord et les meilleures corrélations. On relève ainsi pour AWC un taux d'accord de 88% pour l'anglais américain (Gilkerson & Richards,

2008), et des coefficients de corrélation (r) de 0,764 pour l'anglais canadien (Soderstrom & Wittebottle, 2013), 0,80 pour l'espagnol (Weisleder & Fernald, 2013) et 0,73 pour le mandarin (Gilkerson *et al.*, 2015); le français présente les résultats les plus faibles avec un coefficient de corrélation de 0,64 (Canault *et al.*, 2016). En ce qui concerne CVC, un taux d'accord de 91% est rapporté pour l'anglais américain (Gilkerson & Richard, 2008), et un coefficient de corrélation de 0,71 pour le français (Canault *et al.*, 2016), et de 0,688 pour l'anglais canadien (Soderstrom & Wittebottle, 2013). Pour CT, en revanche, ont été mis en évidence des résultats beaucoup moins encourageants. On relève des coefficients de corrélation allant de 0,14 (Oetting *et al.*, 2009) à 0,51 (Gilkerson & Richards, 2008) pour l'anglais américain, mais de 0,72 pour le mandarin (Gilkerson *et al.*, 2015). Pour le néerlandais, Berends (2015) indique cependant que les comptages réalisés par les experts sont significativement plus élevés que ceux automatisés par le système. De manière générale, même si la fiabilité reste assez bonne pour les variables AWC et CVC, la détection des CT doit encore être améliorée.

Par ailleurs, la complexité du signal source (milieu bruité, contexte multilocuteur) 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 peuvent affecter l'intégrité du signal et par conséquent la fiabilité de la segmentation (Xu *et al.*, 2009). Canault *et al.* (2016) ont aussi signalé que les enregistrements en extérieur avaient, par exemple, une incidence importante sur la pré-segmentation et par conséquent sur la fiabilité des comptages. Pour illustrer ce fait, 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, les chants d'oiseaux ont ainsi été détectés comme des voix de femmes. Enfin, les fonctionnalités de LENA permettent la distinction des séquences produites à proximité de l'enfant cible de celles produites à distance ainsi que celles des locuteurs masculins et féminins (*cf.* section 1). En revanche, dans un contexte où plusieurs locuteurs interviennent, il ne fait pas la différence entre des locuteurs du même sexe contrairement à un auditeur humain. Ainsi, même si les systèmes de reconnaissance automatique de la parole représentent une réelle avancée pour l'analyse de gros échantillons de données acoustiques, ils doivent encore être perfectionnés.

5. QUELLES SONT LES PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION POUR CES SYSTÈMES PERMETTANT LE RECUEIL ET LE TRAITEMENT AUTOMATIQUE DE LARGES BASES DE DONNÉES ?

Dans le domaine de la recherche fondamentale, les perspectives ouvertes par ce type de système sont multiples. La première d'entre elles est la constitution de grandes bases de données de productions recueillies précocément. Le projet *Homebank*, par exemple, s'inscrit dans cette perspective (VanDam, Warlaumont, Bergelson, Cristia, Soderstrom, De Palma *et al.*, 2016). *Homebank* est une

composante de *Talkbank* et se définit comme une base de données publique en ligne qui peut être approvisionnée par la communauté scientifique. Son objectif est de centraliser des enregistrements, de plusieurs heures voire d'une journée complète, réalisés au sein de l'environnement de l'enfant et enrichis par des métadonnées ou des transcriptions. Selon Vandam *et al.* (2016), les transcriptions rendues disponibles via une plateforme comme celle-ci pourraient également être utilisées pour enrichir les modèles de reconnaissance automatique de la parole et ainsi améliorer leurs connaissances. Parallèlement, de plus en plus de travaux couplant d'autres outils à ces systèmes voient le jour. Récemment, Odean, Nazareth et Pruden (2015) ont recueilli simultanément des données d'oculométrie (*eye-tracking*) et du LENA pour évaluer les processus conscients et inconscients d'apprentissage du langage. Abney, Warlaumont, Hausman, Ross et Wallot (2014) ont, quant à eux, tenté d'établir le lien existant entre les mouvements des membres et les vocalisations en couplant les techniques de l'accéléromètre et du LENA. D'autres équipes ont combiné les informations et les fichiers délivrés par LENA avec des outils d'analyse disponibles sous Praat® afin d'extraire, par exemple, des informations sur la prosodie de la parole perçue par l'enfant (Ko, Seidl, Cristia, Reimchen, & Soderstrom, 2016). La portée de ces avancées technologiques ne s'arrête pas au domaine du langage précoce. Les travaux de Li, Vikani, Harris et Lin (2014) montrent notamment qu'un outil comme LENA a été aussi utilisé chez des personnes âgées de 64 à 91 ans.

La sensibilisation, la prévention et les méthodes d'intervention sur le langage adressé à l'enfant émergent en tant qu'enjeu social et développemental. C'est alors que ce type de systèmes commence à trouver leur place dans des programmes d'intervention sur le langage et son développement. On peut ainsi citer la *Thirty Million Words Initiative*. Ce programme d'intervention s'appuie sur les résultats d'Hart et Risley (1995, 2003) alertant sur la différence de quantité de mots entendus par l'enfant de 3 ans, au cours de sa vie, en fonction du statut socio-économique de sa famille. Ce programme est mis en œuvre par l'université de Chicago et il est destiné aux parents de milieux défavorisés pour les sensibiliser à ce problème. Le système LENA, et plus spécifiquement les rapports qu'il délivre, sont utilisés pour proposer un retour quantitatif aux familles concernant le langage que reçoit l'enfant et les productions de celui-ci afin d'aider les parents à enrichir les interactions avec leurs enfants (Leffel & Suskind 2013). D'autres initiatives sont par ailleurs hébergées par ce grand programme d'intervention, c'est notamment le cas du projet ASPIRE qui s'adresse spécifiquement aux familles d'enfants sourds (Suskind *et al.*, 2016).

Si actuellement LENA reste un logiciel difficilement accessible par son coût, les travaux sur les enregistrements naturels de longue durée et leur traitement sont en pleine expansion. Un groupe international, DARCLE (*Daylong Audio Recordings of Children's Linguistic Environments*) réunit des chercheurs s'intéressant à ce domaine et d'autres outils de traitements automatiques commencent à émerger (Metze *et al.* 2016). Ces nouvelles avancées laissent ainsi entrevoir l'espoir de la naissance dans les années à venir d'outils *Open Source* encore plus performants.

CONCLUSION

Les études impliquant le système LENA ont été nombreuses ces dernières années et continuent à se multiplier. Elles tendent à confirmer sa fiabilité, surtout à travers ses nombreuses applications cliniques. Les méthodes d'analyse de l'environnement linguistique jusque-là employées par la recherche fondamentale étaient impossibles à mettre en œuvre par les acteurs participant au développement langagier de l'enfant, c'est-à-dire les parents, les enseignants et dans certains cas les cliniciens. L'utilisation de ce système dans des programmes d'intervention basés sur un *feedback* portant sur l'environnement linguistique, chez des populations à risque (ex : milieu socioéconomique défavorisé), ou atypiques (ex : déficients auditifs, autistes) fait état de l'efficacité des outils de ce type pour la sensibilisation des parents aux problématiques en lien avec le langage et son développement.

La recherche fondamentale sur le développement du langage peut trouver un intérêt pour les fonctionnalités de cet outil. En permettant, d'une part, le recueil de larges bases de données et l'automatisation du traitement des données, et en pouvant, d'autre part, constituer une aide non négligeable à la transcription, ce système représente l'un des moyens pour répondre aux problématiques du recueil et du traitement des métadonnées précieuses pour les chercheurs travaillant dans le domaine de l'acquisition du langage.

Même si des améliorations sont encore nécessaires pour optimiser le système, celui-ci apparaît comme un outil présentant de nombreux avantages pour toutes les disciplines cherchant à obtenir des connaissances sur les productions de l'enfant et sur son environnement linguistique. Ses applications peuvent en outre s'étendre à d'autres horizons, la perspective *life span* étant peut-être le champ qui verra naître de nouvelles études impliquant ce type de système dans les années à venir.

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier le Labex Aslan ainsi que l'Hôpital Edouard-Herriot de Lyon

RÉFÉRENCES

- Abney, D. H., Warlaumont, A., Hausman, A., Ross, J. M. & Wallot, S. (2014). Using non linear methods to quantify changes in infant limbs movements and vocalizations. *Frontiers in Psychology*, 5(771), 1–15. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00771
- Aldosari, M., Almuslanani, A., Wilson, F. & Gilkerson, J. (2012,). *Validation of Language Environment Analysis (LENA) in Arabic-speaking individuals*. Poster session presented at the International Meeting for Autism Research, Toronto, Ontario, Canada.

- Ambrose, S. E., VanDam, M. & Moeller, M. P. (2014). Linguistic input, electronic media, and communication outcomes of toddlers with hearing loss. *Ear and Hearing, 35*(2), 139–147. doi: 10.1097/AUD.0b013e3182a76768
- 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*(4), 340–353. doi: 10.1055/s-0032-1326918
- Bayley, N. (2006). *Scales of infant and toddler development* (3rd ed.). San Antonio, TX: Harcourt Assessment.
- Berends, C. (2015). *The LENA System in Parent-Child Interaction in Dutch Preschool Children with Language Delay* [M.A. thesis]. Utrecht, Holland: UMC-Utrecht.
- Braine, M.D.S. (1994). Is nativism sufficient? *Journal of Child Language, 21*, 9–32.
- Briscoe, J., Bishop, D. V. & Norbury, C. F. (2001). Phonological processing, language, and literacy: a comparison of children with mild-to-moderate sensorineural hearing loss and those with specific language impairment. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines, 42*(3), 329–340.
- Burgess, S., Audet, L. & Harjusola-Webb, S. (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
- Canault, M. & Thai-Van, H. (2013). *Validation of the Language ENvironment Analysis System in French: Data Quality and Associated Factors*. Paper presented at: LENA International Conference, Denver, CO, , 2013.
- Canault, M., Le Normand, M.-T., Foudil, S., Loundon, N., & Thai-Van, H. (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
- Cartmill, E. A., Armstrong, B. F., Gleitman, L. R., Goldin-Meadow, S., Medina, T. N. & Trueswell, J. C. (2013). Quality of early parent input predicts child vocabulary 3 years later. *Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America, 110*(28), 11278–11283. doi: 10.1073/pnas.1309518110.
- Caskey, M., Stephens, B., Tucker, R. & Vohr, B. (2011). Importance of parent talk on the development of preterm infant vocalizations. *Pediatrics, 128*(5), 910–916. doi:10.1542/peds.2011-0609
- 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
- Caskey, M., Stephens, B., Tucker, R. & Vohr, B. (2014). Adult talk in the NICU with preterm infants and developmental outcomes. *Pediatrics, 133*(3), 1–7. doi: 10.1542/peds.2013-0104
- Christakis, D. A., Gilkerson, J., Richards, J. A., Zimmerman, F. J., Garrison, M. M., Xu, D. Yapanel, U. (2009) Audible television and decreased adult words, infant vocalizations, and conversational turns: A population-based study *Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine, 163*, 554–558. doi:10.1001/archpediatrics.2009.61
- Desjardin, J. L., Ambrose, S. E. & Eisenberg, L. S. (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.

- Farran, L. K., Ledesberg, A. R. & Jackson, L. A. (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.
- Fenson, L., Marchman, V. A., Thal, D. J., Dale, P. S., Reznick, J. S. & Bates, E. (2007). *MacArthur-Bates Communicative Development Inventories: User's guide and technical manual* (2nd ed.). Baltimore, MD: Brookes.
- Ford, M., Baer, C. T., Xu, D., Yapanel, U. & Gray, S. (2008). *The LENATM language environment analysis system: Audio specifications of the DLP-0121*. Technical Report LTR-03-2). Boulder, CO: Lena Foundation. Retrieved from https://www.lenafoundation.org/wp-content/uploads/2014/10/LTR-03-2_Audio_Specifications.pdf
- 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 2013, Denver, CO.
- Gilkerson, J. & Richards, J. A. (2008). *The LENA natural language study*. LENA Foundation Technical Report No. LTR-02-2. Boulder, CO: LENA Research Foundation. Available at: http://www.lenafoundation.org/wp-content/uploads/2014/10/LTR-022_Natural_Language_Study.pdf
- 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* (Technical Report LTR-01-2). Retrieved from: http://www.lenababy.com/pdf/The_Power_of_Talk.pdf
- Gilkerson, J., Zhang, Y., Xu, D., Richards, J. A., Xu, X., Jiang, F., Harnsberger, J. & Topping, K. (2015). Evaluating LENA System Performance for Chinese: A Pilot Study in Shanghai. *Journal of Speech Language and Hearing Research*. doi:10.1044/2015_JSLHR-L-14-0014
- Gilkerson, J., Richards, J. A. & Topping, K. J. (2015). The impact of book reading in the early years on parent-child language interaction. *Journal of Early Childhood Literacy*. Advance online publication. doi: 10.1177/1468798415608907
- Greenwood, C. R., Thiemann-Bourque, K., Walker, D., Buzhardt, J. & Gilkerson, J. (2011). Assessing children's home language environments using automatic speech recognition technology. *Communication Disorders Quarterly*, 32(2), 83–92. doi: 10.1177/1525740110367826
- Hart, B. & Risley, T. (1995). *Meaningful differences in the everyday experience of young American children*. Baltimore: Brookes.
- 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>
- Huttenlocher, J., Haight, W., Bryk, A., Seltzer, M. & Lyons, T. (1991). Early vocabulary growth: Relation to language input and gender. *Developmental Psychology*, 27(2), 236–248. doi:10.1037//0012-1649.27.2.236
- Huttenlocher, J., Waterfall, H., Vasilyeva, M., Vevea, J. & Hedges, L. V. (2010). Sources of variability in children's language growth. *Cognitive Psychology*, 61(4), 343–365. doi:10.1016/j.cogpsych.2010.08.002
- Ireton, H. (1992). *Minnesota Child Development Inventory*. Minneapolis, MN: Behavior Science Systems.
- Irvin, D. W., Hume, K., Boyd, B. A., McBee, M. T. & Odom, S. L. (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
- Jackson, C. W. (2013). *Spanish-English speaking preschoolers: An exploratory study examining LENA data*. Paper presented at the LENA International Conference 2013, Denver, CO.
- Johnson, K., Caskey, M., Rand, K., Tucker, R. & Vohr, B. (2014). Gender differences in adult-infant communication in the first months of life. *Pediatrics*, 134(6). doi: 10.1542/peds.2013-4289
- Ko, E.-S., Seidl, A., Cristia, A., Reimchen, M. & Soderstrom, M. (2016). Entrainment of prosody in the interaction of mothers with their young children. *Journal of Child Language*, 43(2), 284–309. <http://doi.org/10.1017/S0305000915000203>
- Korman, M. (1984). Adaptive aspects of maternal vocalizations in differing contexts at ten weeks. *First Language*, 5, 44–45.
- Leffel, K. & Suskind, D. (2013). Parent-Directed Approaches to Enrich the Early Language Environments of Children Living in Poverty. *Seminars in Speech and Language*, 34(04), 267–278. <http://doi.org/10.1055/s-0033-1353443>
- Li, L., Vikani, A. R., Harris, G. C. & Lin, F. R. (2014). Feasibility study to quantify the auditory and social environment of older adults using a Digital Language Processor. *Otology & Neurotology*, 35(8), 1301–1305. doi: 10.1097/MAO.0000000000000489
- MacWhinney, B. (2000). *The CHILDES project: Tools for analyzing talk* (3rd ed.). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Metze, F., Riebling, E., Warlaumont, A. S., & Bergelson, E. (2016). *Virtual Machines and Containers as a Platform for Experimentation*. Interspeech, San Francisco, 8-12 septembre 2016. Retrieved from http://darcl.org/darclDoc2/MetzeEtAl_Interspeech_2016.pdf
- Odean, R., Nazareth, A. & Pruden, S. M. (2015). Novel methodology to examine cognitive and experiential factors in language development: Combining eye-tracking and LENA technology. *Frontiers in Psychology*, 6(1266). doi: 10.3389/fpsyg.2015.01266
- Oetting, J. B., Hartfield, L. R. & Pruitt, S. L. (2009). Exploring LENA as a tool for researchers and clinicians. *The ASHA Leader*, 14(6): 20–22.
- Oller, D. K. (2010). All-day recordings to investigate vocabulary development: A case study of a trilingual toddler. *Communication Disorders Quarterly*, 31(4), 213–222. doi: 10.1177/1525740109358628
- Pae, S. (2013). *An investigation of the language environment of young Korean children and the impact of feedback on language development*. Paper presented at: LENA International Conference, Denver, CO, , 2013
- Pan, B. A., Rowe, M. L., Spier, E. & Tamis-LeMonda, C. (2004). Measuring productive vocabulary of toddlers in low-income families: Concurrent and predictive validity of three sources of data. *Journal of Child Language*, 31(3), 587–608.
- Pan, B. A., Rowe, M. L., Singer, J. D. & Snow, C. E. (2005). Maternal correlates of growth in toddler vocabulary production in low-income families. *Child Development*, 76(4), 763–782. doi:10.1111/j.1467-8624.2005.00876.x
- Pellegrino, F., Coupé, C. & Marsico, E. (2011). Across language perspective on speech information rate. *Language*, 87(3), 539–558. doi:10.1353/lan.2011.0057

- Ramírez-Esparza, N., García-Sierra, A. & Kuhl, P. K. (2014). Look who's talking: Speech style and social context in language input to infants are linked to concurrent and future speech development. *Developmental Science*, 17(5), 1–12. doi: 10.1111/desc.12172
- Roy, B. C., Frank, M. C., DeCamp, P., Miller, M. & Roy, D. (2015). Predicting the birth of a spoken word. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(41), 12663–12668. <http://doi.org/10.1073/pnas.1419773112>
- Rowe, M. L. (2012). A longitudinal investigation of the role of quantity and quality of child-directed speech in vocabulary development: Child-directed speech and vocabulary. *Child Development*, 83(5), 1762–1774. doi:10.1111/j.1467-8624.2012.01805.x
- Siller, M. & Sigman, M. (2002). The behaviors of parents of children with autism predict the subsequent development of their children's communication. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 32(2), 77–89.
- Snow, C. E. (1994). Beginning from baby talk: Twenty years of research on input and interaction. In Gallawa, C. & Richards, B. (Eds). *Input and interaction in language acquisition* (pp.3–12). Cambridge: Cambridge University Press.
- Snow, C. E., Tabors, P. O. & Dickinson, D. K. (2001). Language development in the preschool years. In Dickinson, D.K. & Tabors, T.O. (eds). *Beginning literacy with language: Young children learning at home and school* (pp1–26). Baltimore: Brookes.
- Soderstrom, M & Wittebolle, K (2013) When Do Caregivers Talk? The Influences of Activity and Time of Day on Caregiver Speech and Child Vocalizations in Two Childcare Environments. *PLoS ONE*, 8(11): e80646. doi:10.1371/journal.pone.0080646
- Stoel-Gammon, C. (1988). Prelinguistic vocalizations of hearing-impaired and normally hearing subjects: A comparison of consonantal inventories. *The Journal of Speech and Hearing Disorders*, 53(3), 302–315.
- Suskind, D., Leffel, K. R., Hernandez, M. W., Sapolich, S. G., Suskind, E., Kirkham, E. & Meehan, P. (2013). An exploratory study of “quantitative linguistic feedback”: Effect of LENA feedback on adult language production. *Communication Disorders Quarterly*, 34(2), 1–11. doi: 10.1177/1525740112473146
- Suskind, D. L., Leffel, K. R., Graf, E., Hernandez, M. W., Gunderson, E. A., Sapolich, S. G., Levine, S. C. (2016). A parent-directed language intervention for children of low socioeconomic status: A randomized controlled pilot study. *Journal of Child Language*. 43(2), 366–406. doi: 10.1017/S0305000915000033
- Thiemann-Bourque, K. S., Warren, S. F., Brady, N., Gilkerson, J. & Richards, J. A. (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
- VanDam, M., Ambrose, S. E. & Moeller, M. P. (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
- 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>
- VanDam, M., Warlaumont, A., Bergelson, E., Cristia, A., Soderstrom, M., De Palma, P. & MacWhinney, B. (2016). HomeBank: An Online Repository of

- Daylong Child-Centered Audio Recordings. *Seminars in Speech and Language*, 37(02), 128–142. <http://doi.org/10.1055/s-0036-1580745>
- Vohr, B. R., Topol, D., Watson, V., St Pierre, L. & Tucker, R. (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
- Wang, Z., Pan, X., Miller, K. F. & Cortina, K. S. (2014). Automatic classification of activities in classroom discourse. *Computers & Education*, 78, 115–123. doi: 10.1016/j.compedu.2014.05.010
- Warlaumont, A. S., Richards, J. A., Gilkerson, J. & Oller, D. K. (2014). A social feedback loop for speech development and its reduction in autism. *Psychological Science*, 25, 1314–1324. doi: 10.1177/0956797614531023
- Warren, S. F., Gilkerson, J., Richards, J. A., Oller, D. K., Xu, D., Yapanel, U. & Gray, S. (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
- Weil, L. W. & Middleton, L. (2010). Use of the LENA tool to evaluate the effectiveness of a parent intervention program. *Perspectives on Language Learning and Education*, 17, 108–111. doi:10.1044/lle17.3.108
- Wells, G. (1979). Describing children's linguistic development at home and at school. *British Educational Research Journal*, 5(1), 75–98.
- 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
- Weizman, Z. O. & Snow, C. E. (2001). Lexical input as related to children's vocabulary acquisition: effects of sophisticated exposure and support for meaning. *Developmental Psychology*, 37(2), 265–279.
- Xu, D., Yapanel, U., Gray, S., Gilkerson, J., Richards, J. A. & Hansen, J. (2008,). Signal processing for young child speech language development. Paper presented at the First Workshop on Child, Computer and Interaction, Chania, Crete, Greece. http://www.lenafoundation.org/DownloadFile.aspx/pdf/SignalProcessing_ChildSpeech
- Xu, D., Yapanel, U. & Gray, S. (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>.
- Yoshinaga-Itano, C., Sedey, A. L., Coulter, D. K. & Mehl, A. L. (1998). Language of early- and later-identified children with hearing loss. *Pediatrics*, 102(5), 1161–1171.
- 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, , 2013
- Zhang, Y., Xu, X., Jiang, F., Gilkerson, J., Xu, D., Richards, J. A. & Topping, K. J. (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
- Zimmerman, F. J., Gilkerson, J., Richards, J. A., Christakis, D. A., Xu, D., Gray, S. & Yapanel, U. (2009). Teaching by listening: The importance of adult-child conversations to language development. *Pediatrics*, 124(1), 342–349. doi:10.1542/peds.2008-2267.