

Actes des 8èmes RJC Parole

Étude descriptive préliminaire de la voix de l'enfant implanté cochléaire à partir des mesures aérodynamiques

*Harold GUERRERO**, *Benoit AMY DE LA BRETEQUE***, *Michel MONDAIN***, *Patrick SERRAFERO****, *Catherine TROTTIER*****, *Melissa BARKAT-DEFRADAS**

*Praxiling UMR 5267 CNRS – Université Montpellier III

**Service ORL, CHU Gui de Chauliac, Montpellier

***Ecole Centrale de Lyon, Département MSGMGC, Lyon

****UMR I3M Equipe « Probabilités et Statistique » - Université Montpellier II

*17, rue de l'Abbé de l'Épée - 34090 MONTPELLIER, France

Tél. : ++33 (0)4 67 14 58 61 - Fax : ++33 (0)4 67 14 58 68

Courriel : harold.guerrero@free.fr

ABSTRACT

The purpose of this study was to describe the voice physiological characteristics of cochlear implanted children by voice aerodynamic measurements. Subjects were 6 girls and 14 boys prelingual or congenital profound deaf children. Voice aerodynamic parameters were obtained from the children by EVATM 2 system : estimated subglottic pressure (PSGE), oral airflow mean (DAB), intensity, glottal efficiency, laryngeal efficiency. Although our findings are descriptive and have not been compared to other populations in the present study (such as children with normal hearing and hearing aids), we can assume that cochlear implanted children's voice physiological behavior is similar to the phonatory behavior of children with normal hearing.

1. INTRODUCTION

La compréhension des processus physiologiques impliqués dans le développement de la parole et dans la production de la voix chez l'enfant implanté cochléaire représente un énorme défi pour les orthophonistes, phonéticiens et autres spécialistes intéressés au sujet. Les mesures physiologiques sont le reflet des gestes sous-jacents dans la production de la parole et pourraient révéler des anomalies qui ne seraient pas mises en évidence à partir des mesures acoustiques et perceptives. Des études sur la physiologie de la parole chez l'adulte déficient auditif ont exploré certaines mesures physiologiques [Hig94]. Ces travaux ont permis d'appréhender les capacités de production de la parole et de la voix des individus sourds sévères et profonds. Les résultats révèlent que les adultes déficients auditifs manifestent des valeurs de pression intra-orale, de pression sous-glottique et de résistance laryngée significativement plus élevées que celles de la population contrôle. En outre, tous les sujets sourds profonds présentent au moins une mesure physiologique en dehors des valeurs normales. La plupart de ces sujets présentent des comportements anormaux plus particulièrement dans le mécanisme phonatoire. L'évaluation de paramètres

aérodynamiques a été rarement effectuée chez l'enfant sourd. Les travaux sur le comportement physiologique de la parole de l'enfant sourd ne sont pas nombreux. Ces études ont porté sur l'analyse d'un seul type de signal physiologique. Par conséquent, notre connaissance sur la physiologie de la production de la parole chez l'enfant sourd, y compris chez la population portant un implant cochléaire, reste limitée. Une approche dernièrement envisagée pour aborder cette problématique est l'étude des différents paramètres aérodynamiques [Hig96, Hig00, Hig01, Hig03, Hig05]. Ces derniers, bien que peu souvent exploités pour décrire la voix infantile, et notamment celle de l'enfant implanté cochléaire, sont pressentis comme pouvant révéler des anomalies vocales persistantes qui ne seraient pas identifiées par la mesure des paramètres acoustiques [Hig03]. Les auteurs signalent l'existence d'une large gamme de comportements « déviants » dans la production de la parole et de la voix aussi bien chez l'enfant sourd pré-implanté que chez l'enfant implanté. Les anomalies vocales mises en évidence avant l'implantation persistent quelques années après l'implantation pour certains enfants. De plus, il a été constaté que de nouveaux comportements déviants se mettent en place après l'implantation. Tous les enfants sourds ont manifesté au moins deux mesures physiologiques en dehors des valeurs normales après 5 à 6 ans d'implantation. Ces anomalies vocales sont caractérisées notamment par l'usage des pressions intra-orales négatives, pressions élevées pour [b, m] entre autres. Notre étude s'inscrit à la suite des travaux entrepris par Higgins et col. A notre connaissance, en France, l'analyse du comportement phonatoire sur le plan aérodynamique n'a pas encore été effectuée ni fait l'objet d'une étude descriptive chez la population infantile implantée cochléaire.

2. OBJECTIFS DE L'ETUDE

Les objectifs de cette étude étaient de :

- caractériser sur le plan aérodynamique la voix de l'enfant sourd profond prélingual ou congénital porteur d'un implant cochléaire

pendant 3 ans ou plus et ayant été implanté avant l'âge de 3 ans,

- déterminer en termes de faisabilité la pertinence d'un protocole d'évaluation incluant des mesures aérodynamiques pour l'analyse physiologique de la voix de l'enfant implanté cochléaire.
- identifier et décrire des troubles de la fonction laryngée éventuellement existant chez l'enfant implanté cochléaire à l'aide d'un protocole d'évaluation multiparamétrique.

3. POPULATION ET METHODE

Une étude clinique des paramètres acoustiques et aérodynamiques de la voix d'enfants implantés cochléaires a été conduite au service ORL du CHU « Gui de Chauliac » de Montpellier.

3.1. Population sélectionnée

Nous avons sélectionné 20 enfants implantés cochléaires (6 filles, 14 garçons) âgés entre 6 et 13 ans (10 ans, âge moyen) manifestant une surdité bilatérale profonde congénitale ou prélinguale. Ces enfants ont été oralisés et suivis à l'Institut Saint-Pierre, centre d'implantation cochléaire à Palavas-Les-Flots (Hérault). Les enfants de notre étude avaient été appareillés avant l'âge de 3 ans et portaient l'implant depuis 3 ans ou plus. Nous avons exclu de l'étude les enfants manifestant : des troubles spécifiques du langage, des troubles de la déglutition associés, des troubles moteurs et/ou intellectuels spécifiques, des pathologies neurologiques et/ou d'origine sensorielle extra-auditives associées, des antécédents chirurgicaux vocaux et des malformations cochléaires. En revanche, nous n'avons pas pu recruter une population infantile contrôle pour notre étude. Ceci pour des raisons juridiques et d'éthique biomédicale qui demandaient des démarches administratives de longue durée.

3.2. Matériel et méthode

Le recueil de données a été effectué à l'aide d'un protocole d'évaluation multiparamétrique de la voix (*PEMVox*). Le protocole *PEMVox* a été conçu afin de recueillir des données qualitatives et quantitatives notamment sur la mesure des paramètres acoustiques et aérodynamiques de la voix. Nous présentons ici seulement le protocole utilisé pour la mesure des paramètres aérodynamiques.

L'analyse de la voix a été réalisée à l'aide de l'appareillage *E.V.A.^{TM2} (SQ-Lab, Marseille)*. Ce dispositif permet de recueillir simultanément des mesures acoustiques et aérodynamiques. Les paramètres aérodynamiques retenus pour notre étude étaient : *pression sous-glottique estimée ou PSGE (hPa)*, *débit d'air oral ou DAB (dm³/s)*, *intensité (dB)*, *efficacité glottique (dB/hPa)* et *efficacité laryngée (dB/hPa- dm³/s)*. Ces derniers sont des coefficients calculés instantanément par l'appareillage à partir des mesures de la PSGE, de la DAB et de l'intensité. Le recueil et traitement de mesures

PSGE, DAB et Intensité ont été effectués grâce à l'application « *Efficacité Glottique* » de l'appareillage *EVA^{TM2}*.

Nous avons utilisé la même technique décrite par Yu [Yu01]. En effet, des paramètres aérodynamiques de la voix (tels que la pression sous-glottique estimée, le débit d'air oral) peuvent être mesurés grâce à une technique d'évaluation non invasive mise au point par Smitheran et Hixon [Smi81]. Dans notre étude, l'examineur a placé dans la bouche de l'enfant un capteur de pression qui recueillait les informations. Le dispositif *EVA^{TM2}* a un ensemble de capteurs regroupés au niveau d'une embouchure spécifique qui a été placée sur le visage de l'enfant. La capture des signaux acoustiques (intensité) a été réalisée par un microphone coaxial contenu dans l'embouchure, placé à 5cm de la bouche environ, en aval de la grille de tranquillisation du pneumotachographe thermostaté.

L'examineur demandait à l'enfant de maintenir la sonde entre les molaires supérieures et inférieures du côté gauche sans l'écraser. Il s'agissait d'une sonde d'aspiration pour canule de trachéotomie (Vygon, N°12) dont la relative rigidité permettait de ne pas être écrasée. A l'intérieur de la bouche, 10mm de l'extrémité de la sonde étaient dégagés pour faciliter l'entrée de l'air intra-buccal pendant l'enregistrement. Le masque de l'appareillage *EVA^{TM2}* a été placé de manière hermétique contre le visage. L'examineur veillait lors de l'examen à ce que la sonde ne soit pas obstruée par de la salive et à ce que le visage de l'enfant soit plaqué contre le masque. Dans le cas échéant, l'examineur remplaçait la sonde (Figure 1).

Plusieurs essais étaient effectués avant l'enregistrement afin de vérifier le calibrage du système. Les mesures aérodynamiques ont été traitées à partir de l'émission d'une série de dix syllabes /pa/ à hauteur et intensité usuelles à raison de trois par seconde environ. Après l'enregistrement de l'échantillon (syllabes), le logiciel lançait automatiquement une fenêtre qui affichait simultanément les courbes (Figure 2).



Figure 1 : L'enfant pendant l'examen avec l'appareillage.

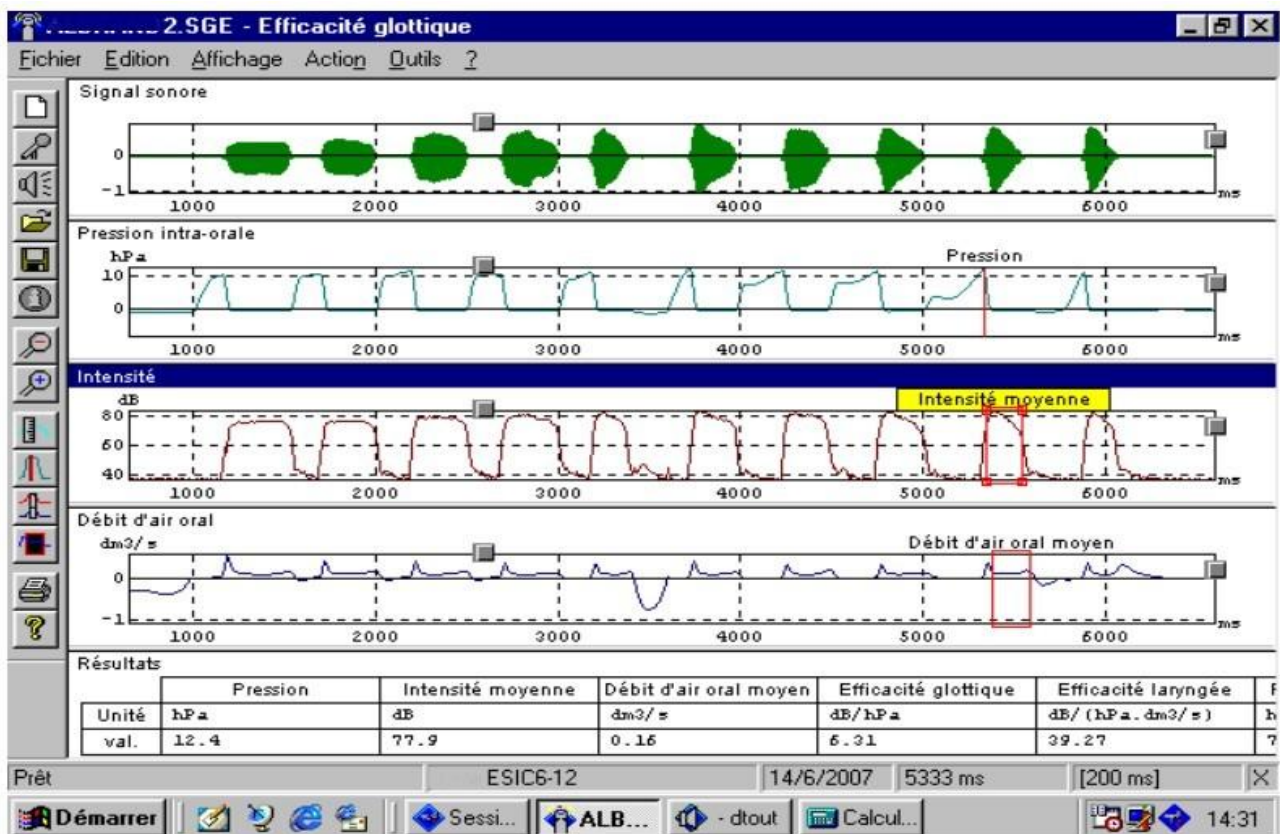


Figure 2 : Courbes et tableau de résultats affichés avec l'application « *Efficacité glottique* » du dispositif EVATM2. On observe les curseurs placés sur les courbes pour la prise de mesures de la PSGE (ou pression intra-orale), intensité et DAB (ou débit d'air oral).

Les mesures étaient relevées à partir des huit syllabes « centrales » consécutives en enlevant systématiquement la première et la dernière. Tout d'abord, nous avons relevé les valeurs de chacune des courbes représentant la syllabe émise. Ces valeurs étaient instantanément affichées dans le tableau de résultats lors du placement du curseur sur la courbe à mesurer. Ensuite, nous avons calculé la valeur moyenne des huit résultats pour chaque paramètre analysé.

La *pression sous-glottique estimée* (PSGE) est la pression de l'air qui arrive des poumons afin de mettre en vibration les cordes vocales pour produire la syllabe /pa/. Elle a été mesurée à l'aide d'un curseur placé précisément sur le pic de pression de la courbe (2^e courbe représentée dans la figure 2). Ce pic correspondait à la phase de fermeture des lèvres et d'explosion du /p/ lors de l'émission de la syllabe /pa/. Dans notre étude, la PSGE a été mesurée en hPa. Le *débit d'air oral* (DAB) est le volume d'air expiré pendant la phonation. Il a été mesuré sur l'émission du /a/ après l'explosion du /p/ lors de l'émission de la syllabe /pa/. Le curseur a été placé juste après le pic, sur la chute de la courbe de pression. Cette zone de la courbe correspondait à la phase d'ouverture des lèvres et d'accolement des cordes vocales. Dans notre étude, le DAB a été mesuré en dm³/s (3^e courbe représentée dans la figure 2). L'*intensité* a été également calculée sur l'émission du /a/ après l'explosion du /p/ comme pour le débit d'air.

Dans notre étude, l'intensité a été mesurée en dB (Figure 2). Quant à l'*efficacité glottique* et l'*efficacité laryngée*, les valeurs de ces coefficients ont été relevées simultanément lorsque nous obtenions les valeurs de la pression sous-glottique estimée et le débit d'air buccal dans le tableau des résultats.

4. RÉSULTATS

Les résultats de l'analyse statistique descriptive des paramètres aérodynamiques pour l'ensemble de la population (n=20) sont présentés dans la table 1. On constate que les valeurs de la médiane se situent généralement en-dessous des valeurs moyennes. Les valeurs extrêmes signalent un écart assez important pour tous les paramètres.

Table 1 : Valeurs des principaux indices statistiques descriptifs pour les paramètres aérodynamiques de la population (n=20).

	Moy.	Dév. Std	Minimum	Maximum	Médiane
DAB	0,128	0,048	0,060	0,230	0,115
PSGE	9,142	2,492	6,200	15,230	8,260
Int	72,510	4,676	65,680	81,600	71,515
Eff glott	8,435	1,806	5,290	11,740	8,455
Eff laryn	78,222	32,751	33,980	155,550	76,140

Higgins et col. [Hig03] reportent des valeurs moyennes chez un groupe contrôle de 6,5 à 12,5 ans (n=28) plus élevées (PSGE \approx 9,96 hPa; DAB \approx 0,139 dm³/s) que celles que nous avons obtenues. Par ailleurs, nous remarquons que la moyenne d'intensité de l'émission /pa/ est assez forte alors que la consigne donnée à l'enfant était d'émettre une série de syllabes /pa/ à hauteur et intensité usuelles. Enfin, la valeur du coefficient d'efficacité glottique se situe en-dessous de la limite de normalité (eff. Glott.>12,5) et la valeur du coefficient d'efficacité laryngée est normale (eff. Lar.>60).

Egalement, nous avons observé la proportionnalité linéaire existant entre les paramètres aérodynamiques et l'âge, la durée d'implantation et l'âge à l'implantation chez la population. Pour y parfaire, nous avons appliqué le test Z de corrélation et déterminé la significativité du coefficient de corrélation (Table 2).

Table 2 : Paramètres aérodynamiques corrélés avec les variables d'âge, de durée d'implantation et d'âge à l'implantation. On observe en bleu les corrélations se trouvant statistiquement significatives et en gris celles qui sont proches de la significativité ($p < 0,05$).

Paramètres corrélés	Coeff.	p.c.
PSGE/Int	0.622	0.0027
PSGE/DAB	-0.087	0.7180
PSGE/Age	-0.619	0.0029
PSGE/Age à l'implant.	-0.297	0.2059
PSGE/Durée d'implant.	-0.652	0.0013
DAB/Int	0.096	0.6903
DAB/Age	0.061	0,8002
DAB/Age l'implant.	-0.437	0,0532
DAB/Durée d'implant.	0.092	0.7044
Int/Age	-0.241	0.3105
Int/Age à l'implant.	-0.304	0.1957
Int/Durée d'implant.	-0.235	0.3237
Eff glott/Age	0.645	0.0016
Eff glott/Age à l'implant.	0.279	0.2367
Eff glott/Durée d'implant.	0.688	0.0005
Eff lar/Age	0.474	0.0337
Eff lar/Age à l'implant.	0.347	0.1353
Eff lar/Durée d'implant.	0.433	0.0561

Nous avons constaté l'existence d'une forte corrélation significative entre la PSGE et l'âge de l'enfant ainsi que la durée d'implantation : plus l'âge de l'enfant et la durée d'implantation augmentent plus la PSGE diminue (figure 3). On observe une tendance à la stabilisation de la pression après 8 ans d'implantation. Par ailleurs, la corrélation de la PSGE et l'intensité est directement proportionnelle témoignant d'un fonctionnement laryngé normal : plus la pression augmente plus l'intensité s'accroît. Bien que la corrélation entre le DAB et l'âge à

l'implantation ne soit pas significative ($p < 0,05$), nous observons qu'il y a une tendance à l'amélioration du DAB quand l'implantation a lieu avant l'âge de deux ans. Quant aux coefficients d'efficacité glottique et laryngée, nous observons une corrélation linéaire « positive » avec l'âge et la durée d'implantation. Le coefficient de l'efficacité glottique accroit notamment en fonction d'une augmentation de l'âge et de la durée de port de l'implant notamment (figure 4).

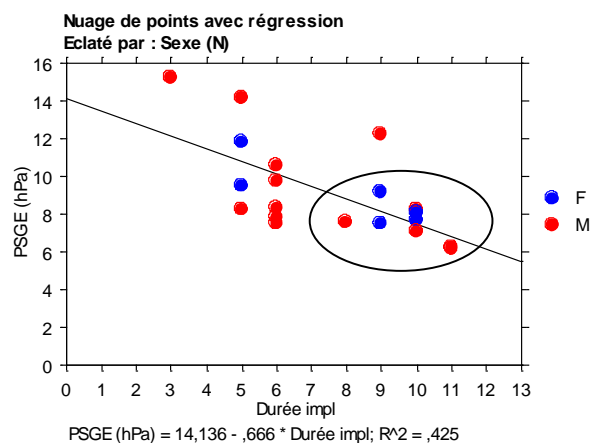


Figure 3 : Graphique de la corrélation PSGE et durée d'implantation. On observe une corrélation linéaire négative et une tendance à la stabilisation de la PSGE après 8 ans.

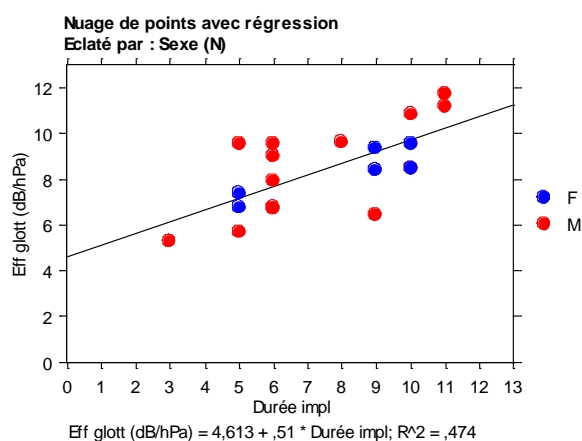


Figure 4 : Graphique de la corrélation Efficacité glottique et durée d'implantation. On observe une corrélation linéaire positive.

5. DISCUSSION ET CONCLUSION

Les résultats de l'analyse statistique descriptive révèlent que les valeurs moyennes de PSGE et DAB de notre population sont légèrement en-dessous des valeurs moyennes reportées par Higgins et col. pour une

population contrôle (PSGE \approx 9,96 hPa; DAB \approx 0,139 dm³/s) [Hig03]. De même, la valeur moyenne de la PSGE présentée par les mêmes auteurs pour une population infantile implantée (n=7) est toujours plus élevée (PSGE \approx 10,5 hPa) que celle de notre population. En revanche, la valeur moyenne de DAB est nettement en-dessous (DAB \approx 0,111 dm³/s) [Hig03] de celle de notre population. Nous expliquons ces différences du fait que la population implantée de Higgins et col. a bénéficié de l'implantation cochléaire après 5 ans d'âge chronologique alors que notre population a été implanté avant l'âge de 3 ans, c'est-à-dire, avant la période d'acquisition du langage. En outre, les enfants de notre étude ont bénéficié de nouvelles stratégies de codage qui n'existaient pas à l'époque à laquelle les travaux de Higgins ont été effectués. Des avancées technologiques concernant l'implantation cochléaire ont rapidement eu lieu depuis ces études.

Quant aux valeurs des indices d'efficacité glottique et d'efficacité laryngée, nous n'avons pas pu comparer nos résultats à ceux de la littérature car ces coefficients n'ont pas encore été exploités pour étudier la physiologie de la parole et de la voix. Ces indices sont fournis et déduits instantanément des mesures de la PSGE, du DAB et de l'intensité par l'appareillage EVATM2. Ils sont proposés par les concepteurs de l'appareillage afin d'explorer des phénomènes liés à la source de phonation tels que la fuite glottique ou l'estimation du forçage vocal dans l'investigation clinique. Par le biais de ces indices, il est possible d'évaluer le rendement glottique. C'est-à-dire, le rapport entre la quantité d'énergie acoustique émise par rapport à la quantité d'énergie aérodynamique nécessaire à cette émission [Sql]. Pour ces raisons, il nous a paru intéressant d'inclure dans cette étude les coefficients d'efficacité glottique et laryngée afin de les comparer ultérieurement dans d'autres travaux. Etant donné qu'il n'existe pas actuellement une base de données sur ces indices même chez une population d'adultes, nous préférons rester prudents dans l'interprétation de nos résultats préliminaires.

Les résultats de la corrélation linéaire entre les paramètres aérodynamiques et les variables telles que l'âge de l'enfant, la durée d'implantation et l'âge à l'implantation mettent en évidence un développement du contrôle du flux aérien nécessaire dans la production de la parole et de la voix. On observe que la maîtrise de la régulation de la pression sous-glottique nécessaire à l'émission se stabilise à partir de 8 ans d'implantation (figure 3), moment où l'enfant semble avoir développé une certaine expérience auditive et avoir acquis une capacité de régulation de l'intensité de la voix. Il a été démontré que les enfants bénéficiant de l'implantation cochléaire à un jeune âge ont un accès au signal sonore qui leur permet d'obtenir de meilleurs résultats.

A l'instar de Higgins et col. [Hig96, Hig00, Hig03], nous n'avons pas obtenu de valeurs négatives de la PSGE dans notre population. Les auteurs rapportent en effet des pressions négatives persistant 3 ans après l'implantation cochléaire jusqu'à 5 ans après l'implantation [Hig03].

Cette pression négative est par ailleurs corrélée à un ensemble de paramètres acoustiques « déviants » tels que la fréquence fondamentale, le VOT et la résistance laryngée.

Sur le plan aérodynamique, nous n'avons pas identifié de troubles de la fonction laryngée ou de comportements phonatoires déviants. D'après les données de la littérature, nous estimons que les valeurs moyennes observées de la PSGE et du DAB chez notre population s'avèrent cohérentes et non déviantes.

La technique d'évaluation des paramètres aérodynamiques que nous avons appliquée, mise au point par Smitheran et Hixon [Smi81] a été initialement conçue pour l'étude de la voix chez l'adulte. En termes de faisabilité, cette technique a pu être appliquée à notre population avec certaines dispositions supplémentaires. Il sera nécessaire de développer cette technique et de l'adapter aux particularités de la population infantile.

Nous constatons que l'analyse de la voix de l'enfant implanté cochléaire ne peut se faire qu'à l'aide d'un protocole d'évaluation multiparamétrique incluant des mesures aérodynamiques. Ces dernières facilitent la compréhension des processus physiologiques impliqués dans le développement de la parole et dans la production de la voix. Des études ont démontré que les enfants implantés cochléaires pourraient être relativement intelligibles dans la communication orale même si certains aspects de la physiologie de la parole et de la voix sont « déviants ».

Une première base de données des principaux paramètres aérodynamiques de la voix de l'enfant implanté cochléaire de 6 à 13 ans a pu être réalisée. Elle s'inscrit dans le cadre d'une étude préliminaire qui donnera les éléments et les bases pour l'élargissement des données présentées. Nous avons trouvé que la population d'enfants ayant pu faire l'objet d'une étude des mesures des paramètres aérodynamiques est faible pour faire autre chose que du descriptif. De plus, l'exploration des mesures aérodynamiques sur un groupe contrôle est nécessaire afin de comparer de manière plus fiable ces mesures. Une poursuite du recueil des données peut être envisagée afin d'élargir cette base de données préliminaire.

RÉFÉRENCES

- [Hig94] Higgins M.B., Carney A.E., Schulte L. (1994) "Physiologic Assessment of speech and voice production of adults with hearing loss", *Journal of Speech and Hearing Research*, Vol. 37, pp. 510-521.
- [Hig96] Higgins M.B., McCleary E.A., Carney A.E., Rogers S. (1996) "Negative intraoral air pressures of deaf children with cochlear implants : Physiology, phonology and treatment", *Journal of Speech and Hearing Research*, Vol. 39, pp. 957-967.

- [Hig00] Higgins M.B., McCleary E.A., Schulte L. (2000) "Use of visual feedback to treat negative intraoral air pressures of preschoolers with cochlear implants", *American Journal of Speech Language Pathology*, Vol. 9, pp. 21-35.
- [Hig01] Higgins M.B., McCleary E.A., Schulte L. (2001) "Articulatory changes with short-term deactivation of the cochlear implants of two prelingually deafened children", *Ear-and-hearing*, Vol. 22, No. 1, pp. 29-45.
- [Hig03] Higgins M.B., McCleary E.A., Carney A.E., Schulte L. (2003) "Longitudinal changes in children's speech and voice physiology after cochlear implantation", *Ear-and-hearing*, Vol. 24, No. 1, pp. 48-70.
- [Yu01] Yu P., Ouaknine M., Revis J., Giovanni A. (2001) "Objective Voice Analysis for Dysphonic Patients: A Multiparametric Protocol Including Acoustic and Aerodynamic Measurements", *Journal of Voice*, Vol. 15, No. 4, pp. 529-542.
- [Smi81] Smitheran J.R., Hixon T.J. (1981) "A clinical method for estimating laryngeal airway resistance during vowel production", *J Speech Hear Dis*, Vol. 46, pp. 138-146.
- [Hig05] Higgins M.B., McCleary E.A., Ide-Helvie D.L., Carney A.E. (2005) "Speech and voice physiology of children who are hard of hearing", *Ear-and-hearing*, Vol. 26, No. 6, pp. 546-558.
- [Sql] <http://www.sqlab.fr/doc/PlaquetteSesaneAeroFRA0501>.