Peut-on parler sous l'eau avec un embout de détendeur ? Etude articulatoire et perceptive

Alain Ghio, Yohann Meynadier, Bernard Teston, Julie Locco, Sandrine Clairet, Robert Espesser, Christine Meunier, Isabelle Vincent-Marlien, Cyril Deniaud

▶ **To cite this version:**

Alain Ghio, Yohann Meynadier, Bernard Teston, Julie Locco, Sandrine Clairet, et al.. Peut-on parler sous l'eau avec un embout de détendeur ? Etude articulatoire et perceptive. Journées d'Etude sur la Parole (JEP), Jun 2006, Dinard, France. pp.379-382. hal-00250280

HAL Id: hal-00250280
https://hal.science/hal-00250280

Submitted on 11 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Peut-on parler sous l'eau avec un embout de détendeur ? Etude articulatoire et perceptive

Alain Ghio, Yohann Meynadier, Bernard Teston, Julie Locco, Sandrine Clairet, Robert Espesser, Christine Meunier, Isabelle Marlien, Cyril Deniaud

Laboratoire Parole et Langage, UMR 6057, CNRS – Université de Provence,
29 Av. R. Schuman, 13621 Aix-en-Provence, France
alain.ghio@lpl.univ-aix.fr, http://www.lpl.univ-aix.fr

ABSTRACT

We study the ability of sub aquatic divers to communicate by speech by means of an air regulator mouthpiece equipped with an acoustical sensor. These specific constraints on elocution led us to carry out an aerodynamic study to check phonation, an EPG study to observe the modification of articulation, and an analysis of labial forces involved with a special mouthpiece. Tests on intelligibility enabled us to evaluate the device in situation of real diving. In the current state, the various results let foresee a reduced but real possibility of spoken communication with a mouthpiece to certain conditions.

1. LA COMMUNICATION PARLÉE SOUS-MARINE

La communication parlée sous-marine est une problématique abordée à la fois par les acteurs du domaine mais aussi par la communauté scientifique. Des workshops sur ce thème sont organisés régulièrement (ex : "European Conference on Underwater Acoustics"). De façon simplifiée, il existe actuellement trois modes de communication parlée sous-marine. (1) En caisson : les plongeurs évoluent dans une enceinte sous-pression et respirent un mélange gazeux allégé (ex : Héliox, Trimix). Les locuteurs ne sont donc soumis à aucune contrainte articulatoire. Les prises de son sont effectuées de façon traditionnelle par microphone. Par contre, la pression importante et la particularité du gaz inhalé entraîne une distorsion acoustique bien connue sous le nom d'effet "Donald Duck" [1]. (2) Avec masque facial : les plongeurs portent un masque facial leur permettant de respirer, de voir leur environnement et éventuellement de parler. Ces masques équipent notamment les plongeurs professionnels et les militaires. (3) Avec embout de détendeur : l'objet de cette étude.

2. UN EMBOUT DE DÉTENDEUR POUR PARLER SOUS L'EAU ?

Parler avec un embout de détendeur est un procédé en cours de développement qui s'adresse plutôt aux plongeurs amateurs. L'objectif est d'équiper un tel embout avec des capteurs vibratoires de façon à pouvoir enregistrer les vibrations sonores produites par le plongeur quand il parle. L'embout, en caoutchouc synthétique, fait l'interface entre le détendeur d'air comprimé et la bouche du plongeur lui permettant de respirer. Les enjeux industriels nous imposent une réserve de confidentialité et nous ne rentrerons pas dans les détails du capteur de vibration employé. Il faut toutefois signaler que ce capteur et son conditionneur entraînent certaines distorsions, notamment un filtrage passe-haut avec une perte de -15 dB à 250Hz pour une référence 0dB à 1000Hz. On peut donc s'attendre à certains problèmes de transmission pour les voix graves. Notre objectif était de réaliser une étude articulatoire et perceptive sur différents types d'embout et d'en évaluer les impacts sur la production et la perception de la parole en plongée.

L'embout standard (*EmbStd*) est la version classiquement utilisée en plongée. Pour la production de parole, sa forme entraîne une perturbation des articulations antérieures, notamment une impossibilité d'occlusion labiale et une réduction de mouvement de la mâchoire. Une variante d'embout utilise une forme standard à laquelle se rajoute une "pièce phonatoire" en matière plastique (*EmbPPhon*) qui permet un pincement du tube au niveau des dents. Ce système "prothétique" a été proposé pour autoriser une occlusion "bi-dentale" de type "morsure". Enfin, une forme originale a été testée intégrant un système de clapet au niveau des lèvres autorisant, en théorie, une pseudo fermeture labiale (*EmbClapet*).

3. LES CONTRAINTES PHYSIOLOGIQUES LIEES A LA PRODUCTION DE PAROLE AVEC EMBOUT

Cette situation atypique de production de parole entraîne des contraintes à la fois aérodynamiques (air comprimé) et articulatoires (blocage des lèvres et de la mâchoire).

3.1. La surpression aérienne

Position du problème

L'utilisation de l'ensemble embout + détendeur + air comprimé perturbe inévitablement les processus naturels de phonation, notamment en introduisant une surpression en sortie du conduit vocal. L'objectif est d'évaluer l'ampleur de la perturbation et de vérifier si cette surcharge n'est pas prohibitive à un usage de la parole en milieu subaquatique. Un paramètre essentiel pour la phonation est la pression transglottique qui permet une mise en vibration des cordes vocales. Une élévation de la pression sus-glottique (liée à l'air comprimé) doit nécessairement être accompagnée d'une augmentation de la pression sous-glottique (PSG), ceci pour maintenir le différentiel de pression nécessaire à la vibration laryngée. La mesure de la PSG est donc essentielle pour évaluer la faisabilité du mécanisme. En milieu clinique, il est possible de ponctionner la trachée pour faire passer un cathéter pour la mesure. Dans notre cas (milieu aquatique), cette méthode invasive est impossible. De ce fait, nous avons utilisé la méthode indirecte de "Smitheran & Hixon" validée par Demolin et al. [2]. Par ce procédé, on accède à la pression sous-glottique en mesurant la pression intra-orale lors de configurations articulatoires bien spécifiques (ex : la tenue de /p/).

Mesures, résultats et conclusion

Trois plongeurs ont prononcé la phrase "Pa pa ne m'a pas parlé de beau-pa pa" dix fois, soit 60 productions de /pa/ par locuteur, ceci une fois à l'air libre sans embout (condition de contrôle) puis en milieu aquatique avec l'embout. La pression intra-orale a été mesurée à l'aide d'une sonde d'aspiration insérée dans la bouche du locuteur et reliée au capteur de pression du dispositif EVA2 (SQLab, LPL). L'utilisation de l'ensemble embout + détendeur + air comprimé laisse apparaître (Figure 1) un surcroît de pression sous-glottique de l'ordre de 4 hPa (contrôle : 5.13 hPa, aquatique : 9.03 hPa). Cette valeur est importante car elle représente une augmentation de 80%. Toutefois, la charge supplémentaire induite sur la source vocale n'est pas prohibitive et autorise la phonation. En effet, dans le cas de parole pathologique, la pression sous-glottique estimée peut atteindre des valeurs de l'ordre de 20 hPa.

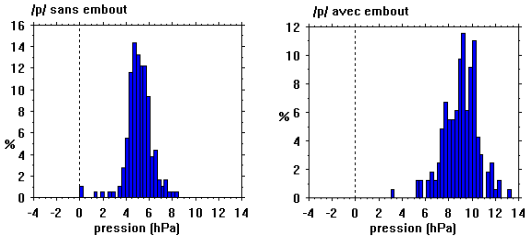

Figure 1 : Histogramme des mesures de pression tous locuteurs confondus en condition normale (sans embout à l'air libre) et avec embout sous l'eau.

3.2. La mesure de force labiale

En utilisant l'embout doté d'un clapet à ressort permettant, par construction, une pseudo fermeture labiale, les utilisateurs ont très vite eu la sensation que les forces à développer au niveau des lèvres étaient trop importantes pour assurer une occlusion, même partielle. Afin de vérifier cette sensation, nous avons développé un banc de mesure pour obtenir une valeur des forces mises en jeu. Pour cela, nous avons utilisé des capteurs de force Interlink Electronic (réf. SS-U-N-S00033) dont la résistance électrique varie en fonction de la force qui lui est appliquée (FSR). Nous avons choisi ce type de capteur car il est insensible aux vibrations et donc au bruit environnant contrairement aux polymères piézo-électriques; de plus, sa large plage d'impédance autorise l'emploi d'une électronique d'interface simplifiée. La mesure de résistance à partir d'un ohmmètre de qualité permet ainsi de déterminer la force. Une étape d'étalonnage a été effectuée au préalable pour obtenir la relation résistance/force.

Table 1 : Force labiale pour obtenir une occlusion

Condition	Force
Sans embout	0.4 N
Avec embout à clapet	4.9 N

Les résultats (Table 1) laissent apparaître des écarts de force d'un rapport 10 entre la situation naturelle et celle avec l'embout à clapet, ce qui objective l'importante rigidité perçue et qui implique un développement de force beaucoup trop important pour une utilisation opérationnelle du clapet.

3.3. Etude articulatoire par EPG

L'effet d'embouts, maintenus au niveau prémolaire, sur l'articulation linguopalatale n'est pas complètement assimilable à celui de bite-blocks (cales intermolaires). En effet, un embout de plongée est plus invasif dans la partie antérieure de la bouche que des bite-blocks, mais laisse une certaine liberté de mouvement mandibulaire. On peut cependant s'attendre à observer des phénomènes proches de ceux isolés par Clairet [3] sur l'effet bite-block en français, à savoir une postériorisation du lieu articulatoire de /t/ sans incidence notable sur le mode occlusif.

Méthode et mesures

L'électropalatographie (EPG) enregistre dans le temps les contacts de la langue sur le palais dur dans les dimensions sagittale et coronale grâce au port d'un palais artificiel garni d'électrodes qui s'activent au contact de la langue (dans notre cas, EPG de Reading à 62 électrodes, [4]). Le corpus est constitué de séquences CaCa, avec alternativement /p, t, k, f, s, ʃ, j, w/, insérées dans la phrase porteuse « Il reverra 'CaCa' à Draguignan » répétée 3 fois par 3 locuteurs français. 3 indices EPG sont calculés au point de constriction maximale de chaque consonne. Le *Taux Maximal* de contacts EPG, croissant de 0 à 1, renseigne la magnitude de la constriction linguopalatale. L'*Indice de Postériorité*, qui varie de -3,5 à +3,5 plus le contact linguopalatal est postérieur, informe sur le lieu d'articulation. L'*Indice de Fermeture*, intégrant une pondération croissante de 1 à 3 des 2 colonnes d'électrodes les plus latérales aux 2 colonnes les plus centrales, augmente plus le mode d'articulation est fermé. Pour ces calculs, les 2 colonnes EPG les plus latérales ont été exclues du fait d'un recouvrement partiel et variable par les différents embouts.

Résultats

L'effet général d'un embout sur l'articulation linguopalatale est fonction de la forme de l'embout et des locuteurs (Figure 2). Une ANOVA à 2 facteurs (*Locuteur*Embout*) montre que les locuteurs [$F(2, 432) = 8.307$; $p = .003$] et les embouts [$F(3, 432) = 2.738$; $p = .0431$] ont un effet significatif, mais variable, sur la magnitude de la constriction linguopalatale.

L'Indice de Postériorité, relatif à la localisation des contacts EPG sur l'axe antéro-postérieur du palais, révèle que le port d'un embout provoque globalement une postériorisation du lieu d'articulation des consonnes linguopalatales (Figure 3). Face à ce phénomène, les antérieures, [t] dental et [s] alvéolaire, sont les plus affectées. Les palatales [ʃ, j] et les vélaires [k, w] montrent une postériorisation moins importante et plus variable en fonction du type d'embout. Des tests post-hoc Bonferroni/Dunn (seuil calculé à $p < .0083$) réalisés entre les différents conditions d'embout (2 facteurs intégrés, *Lieu*Embout*) montrent que les seules distinctions significatives concernent la condition *Contrôle* face à toutes celles avec embout ($.0001 < p < .0006$).

L'Indice de Fermeture (Figure 4), relatif au degré de fermeture de la constriction linguopalatale (axe sagittal),

montre que l'embout n'entraîne pas de fusion de mode d'articulation entre les approximantes [j, w], les fricatives [s, ʃ] et les occlusives [t, k]. Cela provient en partie d'un effet opposé entre occlusives (nettement plus fermées) et fricatives (légèrement plus ouvertes). Des tests post-hoc Bonferroni/Dunn (seuil calculé à $p < .0083$) réalisés entre les différents conditions d'embout (2 facteurs intégrés *Mode*Embout*) montrent que la seule distinction significative observée concerne la condition *Contrôle* face à *EmbClapet* ($p = .0056$). Cela apparaît sur la Figure 4 par une quasi fusion des modes approximant et fricatif dans cette condition. Ce type d'embout semble donc provoquer une gêne plus importante.

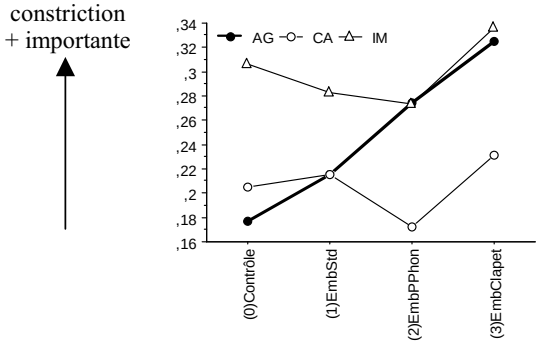

Figure 2: *Taux Maximal de contacts* moyen (en y) selon le type d'embouts et les 3 locuteurs (AG, CA, IM)

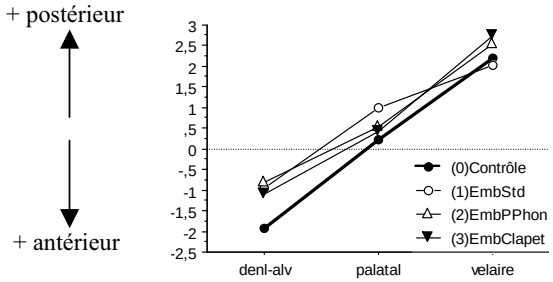

Figure 3: *Indice de Postériorité* moyen (en y) selon le lieu d'articulation et les embouts (locuteurs confondus)

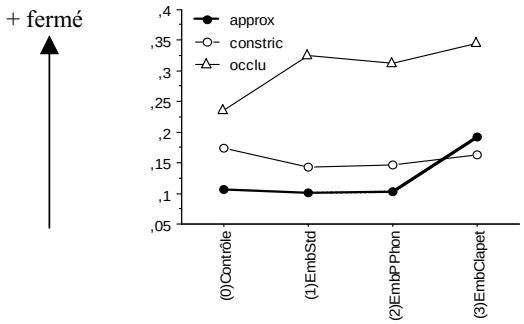

Figure 4: *Indice de Fermeture* moyen (en y) selon le mode d'articulation et les embouts (locuteurs confondus)

L'analyse EPG des articulations labiales [p, f] fait apparaître quelques contacts latéraux postérieurs dans les conditions *EmbPPhon* et *EmbClapet*. Ce phénomène récurrent semblerait se produire quand un geste d'occlusion labial substitutif est proposé par une adaptation de l'embout autorisant une fermeture de son orifice, soit au niveau des dents par une pièce phonatoire actionnée en mordant, soit par un clapet actionné en pinçant au niveau des lèvres.

Pour les consonnes linguopalatales, l'analyse EPG a donc mis en évidence des modifications articulatoires non réellement critiques. Seul l'embout à clapet entraîne une neutralisation de la distinction de lieux ou de modes articulatoires entre les consonnes. Le changement le plus homogène est lié à une postériorisation de /t, s/ ce qui peut s'apparenter à un effet bite-block [3]. Reste que l'effet *Locuteurs* demeure le plus important lors des adaptations articulatoires provoquées par la perturbation que représente le port d'un embout de plongée.

4. L'EVALUATION PERCEPTIVE (MESURE D'INTELLIGIBILITE)

L'intelligibilité du dispositif a été mesurée par des tests de paires minimales (Peckels & Rossi, [5]).

4.1. Recueil du corpus

Trois plongeurs (1 homme, 2 femmes) ont prononcé avec chacune des formes d'embout la liste des 216 mots isolés correspondant aux 108 paires minimales. Un enregistrement en chambre sourde sans embout a fourni les données de contrôle. Les enregistrements aquatiques ont été réalisés en piscine. Les plongées ont été placées sous le contrôle d'un moniteur de plongée fédéral (MF1). Le texte du corpus a été imprimé sur des transparents résistant à un trempage dans l'eau chlorée. Le signal émis par le capteur de l'embout était pré amplifié, enregistré sur Mini-Disque puis stocké au format audio Wave PCM 16 bits 44kHz.

4.2. Tests d'intelligibilité

Pour chaque embout et chaque locuteur, 10 auditeurs ont fourni leur évaluation (2160 réponses) à travers une tâche de choix forcé portant sur chaque paire minimale [5]. Les 4 conditions (1 contrôle + 3 embouts) avec trois locuteurs ont permis de recueillir 25 920 réponses. Le pilotage expérimental était assuré par le logiciel PERCEVAL, un dispositif automatisé de tests de PERCeption et d'EVALuation auditive et visuelle [6].

La situation de contrôle (98.8% de bonnes réponses) a permis de valider la "bonne" élocution des locuteurs et la perception "correcte" des auditeurs (Figure 5). Les technologies "simples" (embout standard avec/sans pièce phonatoire) ont fourni les meilleurs résultats avec 78% de réponses correctes (Figure 5). Cette tendance est confirmée par l'analyse du temps de réaction où les mêmes embouts nécessitent un temps de réponse plus court (1103 ms vs. 1324 ms avec l'embout à clapet, Figure 5). Ce taux de 78% de bonnes réponses reflète une situation mitigée (il faut se rappeler qu'un score de 50 % est équivalent à une réponse au hasard pour des paires de mots). A titre de comparaison, le score de bonnes réponses dans la communication en milieu subaquatique hyperbare se situe entre 73 et 78 % dans l'étude de Cavé et al. [1] et d'après les auteurs, un tel score ne pose pas de problèmes aux plongeurs professionnels qui considèrent qu'une telle communication est satisfaisante.

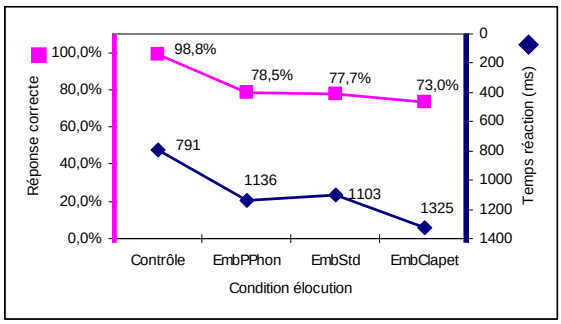

Figure 5 : Taux de réponses correctes (■) et temps de réaction (◆) par embout (locuteurs confondus)

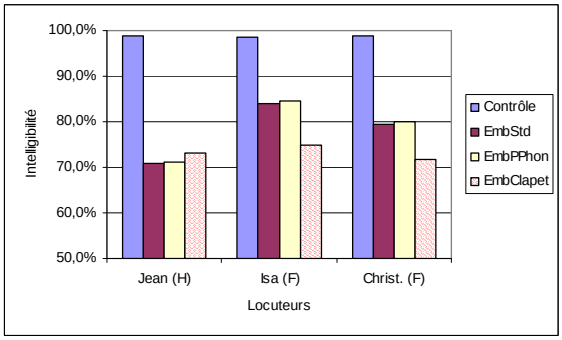

Figure 6 : Scores d'intelligibilité par locuteur selon la situation d'enregistrement

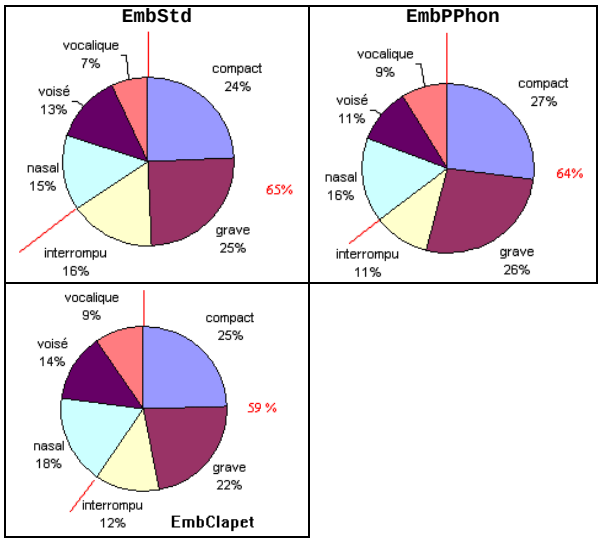

Figure 7 : Répartition des erreurs par embout (locuteurs confondus)

L'analyse des résultats par condition et par plongeur (Figure 6) laisse apparaître un effet important lié au locuteur, plus qu'à la technologie employée. Autrement dit, l'amélioration de l'intelligibilité repose, dans un premier temps, plus sur une mise en place de stratégies compensatoires et un apprentissage rapide chez le plongeur qu'à la technologie de l'embout, cette stratégie étant d'emblée disponible plus chez certains locuteurs que chez d'autres.

Quels que soient les embouts, les traits phonétiques les plus altérés sont le trait de compacité et le trait grave/aigu (Figure 7). Ces deux traits sont des corrélats acoustiques du lieu d'articulation (grave ⇔ labialité, aigu ⇔ dental, compact ⇔ palatal). Les erreurs sur le trait "interrompu" sont moins fréquentes avec la pièce phonatoire et l'embout à clapet, ce qui traduit un fonctionnement opérationnel de ces dispositifs d'occlusion.

5. Conclusion

Au niveau scientifique, ce type d'étude reste très difficile à mener du fait des contraintes expérimentales très lourdes et inhabituelles. Malgré tout, les résultats en perception rejoignent en bonne partie ceux de l'étude articulatoire. La postériorisation des consonnes linguales, et principalement antérieures, provoque globalement un rapprochement général des lieux, ce qui correspond auditivement à des distinctions perceptives plus difficiles pour les traits grave/aigu et compact/diffus. Les tests perceptifs montrent également relativement peu de confusion entre le mode occlusif et les autres. Cela semble corroborer par l'observation en production d'occlusives nettement plus fermées et de constrictives un peu plus ouvertes, ce qui favorise un maintien perceptif de la distinction [+/-interrompu]. Ainsi, en l'état, les différents résultats laissent entrevoir une possibilité réelle, même si elle s'avère réduite, de communication parlée subaquatique avec un embout de détendeur.

Cette étude a fait l'objet du contrat de prestation CNRS n°2003 IND 073.

Remerciements à la direction et au personnel de la piscine universitaire d'Aix-en-Provence.

Bibliographie

[1] C. Cavé, C. Meunier, A. Ghio, Melliet J.L., Marchal A. Effect of speech conditions and gas mixture on the intelligibility of Diver's speech, as asserted under real Diving Conditions at 50 and 100 meters, In *3rd European Conference on Underwater Acoustics*, pages 765-769, 1996.

[2] D. Demolin, A. Giovanni, S. Hassid, C. Heim, V. Lecuit, A. Socquet., Direct and indirect measurements of subglottic pressure, In *Larynx 97*, Marseille, pages 69-72, 1997.

[3] Clairet, S., Compensation articulatoire dans la production des occlusives linguales du français, In *Colloque "Perturbation et réajustements : langue et parole"*, Haguenau, 2005.

[4] W.J. Hardcastle, W.J. Jones, C. Knight, A. Trudgeon, C. Calder, New developments in Electropalatography: State-of-the-art report, In *Clinical Linguistics and Phonetics*, 3 : 1-38, 1989.

[5] J.P. Peckels & M. Rossi. Le test de diagnostic par paires minimales, *Revue d'acoustique*, 27 : 245-262, 1973.

[6] C. André, A. Ghio, C. Cavé, B. Teston. PERCEVAL : a Computer Driven System for Experimentation on Auditory and Visual Perception. In *15th ICPhS*, pages 1421-1424, 2003.