



## Perturbation de l'organisation temporelle de la parole suite à un effort physique

<sup>1</sup>Camille Fauth, <sup>1</sup>Angéline Duchemin, <sup>1</sup>Béatrice Vaxelaire, Rudolph Sock<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Université de Strasbourg, Institut de Phonétique, E.A. 1339 LiLPa, Strasbourg, France

<sup>2</sup>Language Information and Communication Laboratory (LICOLAB) Université Pavla Jozefa Šafárika (UPJŠ) / Košice (Slovaquie)

cfauth@unistra.fr

### RESUME

---

La production de la parole, dans son déroulement temporel, est organisée en groupes rythmiques conditionnés par des contraintes physiologiques, linguistiques et communicatives. L'objectif de ce travail est d'évaluer les conséquences d'un effort physique sur cette organisation temporelle de la parole, en se focalisant sur les pauses (respiratoires et silencieuses) produites lors d'une tâche de lecture. 14 locuteurs répartis en trois groupes (fumeur, contrôle et sportifs) ont été enregistrés avant et après avoir fourni un effort physique afin d'observer si leur condition physique pouvait avoir un effet sur leurs productions. Les résultats indiquent que les locuteurs réorganisent la réalisation des pauses. Ainsi, si le nombre global de pauses réalisées reste identique entre les deux phases d'enregistrement, ce sont les pauses silencieuses qui sont les plus nombreuses avant l'effort, alors que ce sont les pauses respiratoires qui sont les plus importantes après l'effort, et ce pour tous les groupes de locuteurs. Les vitesses d'élocution et d'articulation restent inchangées.

### ABSTRACT

---

Speech production, in its temporal course, is organised into rhythmic groups conditioned by physiological, linguistic and communicative constraints. The main thrust of this work is to evaluate the consequences of physical effort on this temporal organisation of the speech, by focusing on pauses (breathy and silent pauses) produced during text reading. To do so, 14 speakers, divided into three groups (controls, smokers and athletes), were recorded before and after performing a series of skipping jumps, in order to see if their physical condition could have an effect on readjustment strategies deployed during the production of speech in a breathlessness condition. Results indicate that the way pauses are carried out by speakers is reorganised. Thus, if the total number of pauses observed remains the same across the two recording phases, silent pauses are the most numerous before effort, whereas breathy pauses are more significant after effort, such results being true for all groups of speakers. Speech and articulation rates remain unchanged.

**MOTS-CLES** : production de la parole ; timing ; perturbations ; efforts physiques

**KEYWORDS**: speech production, timing, perturbations, physical effort

---

## 1 Introduction

L'organisation des cycles respiratoires (*breath cycles*) lors de la production de la parole diffère selon différents paramètres tels que les stratégies individuelles (Teston & Autesserre, 1987), l'âge du locuteur (Sperry, Klich, 1992), la complexité de la planification (Mitchell et al., 1996), la nature

de la tâche de production (Wang, et al., 2010)... Le cycle respiratoire lors de la production de la parole est d'autant plus irrégulier qu'il repose sur des contraintes physiologiques, linguistiques et communicatives (Rochet-Capellan, Fuchs, 2013). Les contraintes physiologiques englobent le besoin de ventilation pour la production de la parole et la gestion de la respiration pour des raisons métaboliques. Les contraintes linguistiques sont déterminées par la structure grammaticale de la phrase et par l'adaptation de celle-ci au sein d'un ou de plusieurs cycle(s) respiratoire(s). Les contraintes communicatives sont celles résultant du besoin de structuration du discours à travers le groupe rythmique qui, lui, impose au cycle respiratoire une certaine organisation.

Les études sur la qualité vocale du fumeur sont nombreuses et l'on sait que fumer peut avoir un effet très néfaste sur la capacité respiratoire, mesurée à l'aide d'un spiromètre, notamment lorsque sa consommation a été commencée jeune (Urrutia et al., 2005). En revanche, l'exercice physique a un bienfait essentiel sur le système respiratoire, puisqu'il augmente la ventilation et la circulation sanguine dans les bronches et les poumons. Ce bienfait peut en effet affecter l'état général du métabolisme humain (Saltin, Grimby, 1968 ; Pate et al., 1995). Cependant, tout de suite après un effort physique, parler devient plus difficile et la respiration est saccadée. Ce trouble est provoqué par le besoin compétitif entre la respiration pour des raisons métaboliques et la respiration pour la production de la parole (Trouvain, Truong, 2015).

Les pauses jalonnent la production de la parole et permettent l'alternance entre des phases de production et des phases de silences. Ces derniers, sont considérés comme des pauses vides et sont alors définis comme une interruption du flux de parole se répercutant sur le signal acoustique par une amplitude nulle ou non-significative (Duez, 2003). Notons toutefois que d'un point de vue acoustique, lors de la production de la parole, les phases de silence sont rares puisque les locuteurs produisent souvent des clics, des bruits de déglutition ou des bruits de respiration. Les bruits de souffle dans les pauses peuvent d'ailleurs remplir plusieurs fonctions. D'un point de vue syntaxique par exemple, ils peuvent signaler la longueur de la phrase à venir ou marquer une pause de niveau supérieur (Grosjean, Collins, 1979 ; Strangert, 1991 ; Fuchs et al, 2013). Ils peuvent même avoir un intérêt pour la mémorisation des phrases (Whalen, et al. 1995). En outre, une modification de la configuration des voies respiratoires, par exemple en induisant un stress physique, peut avoir un impact important sur la structure de la phrase prosodique (Trouvain, Truong, 2015). Enfin, habituellement les pauses silencieuses en fin de phrases sont considérées comme une interruption adéquate du flux articulatoire, tandis que les pauses apparaissant à d'autres endroits sont considérées comme des disfluences, comparables aux pauses remplies par « euh/m ». La question du seuil à partir duquel il est possible de considérer une pause silencieuse varie par exemple de 100ms (Trouvain, 2004) à 200ms (Lennon, 1990 ; Cucchiari et al. , 2002) voire à 400ms (Tavakoli, 2011).

L'objectif de ce travail est d'étudier l'organisation temporelle de la lecture d'un texte après un effort physique, produit par trois groupes de locuteurs aux conditions physiques différentes (fumeurs, contrôles, sportifs). Nous souhaitons savoir si la condition physique pourrait avoir un effet sur les stratégies de réajustement que les locuteurs peuvent déployer face à l'essoufflement, ou la perturbation du cycle respiratoire, durant la production de la parole.

## 2 Méthodologie

### 2.1 Corpus et participants

Les sujets ont été enregistrés dans la chambre anéchoïque de l'Institut de Phonétique de Strasbourg, en position debout, à 20 cm d'un microphone unidirectionnel, relié à un enregistreur numérique. Les emplacements du sujet et du microphone ont été matérialisés au sol pour limiter au maximum les déplacements entre les différentes sessions d'enregistrement. Les locuteurs avaient pour tâche de lire à une hauteur et à une vitesse confortables le texte *la bise et le soleil* après avoir effectué deux minutes consécutives de corde à sauter. Préalablement, une lecture de référence, au repos, avait été effectuée. Ils avaient également eu un certain temps pour prendre connaissance du texte.

Pour cette étude, 14 sujets, 9 hommes et 5 femmes, âgés de 25 ans en moyenne (E.T. 4,59) ont été retenus. Ils avaient tous pour langue maternelle le français, ne présentaient aucune pathologie vocale, respiratoire ou auditive. De plus, compte tenu de l'effort physique qui leur est demandé, leur IMC (Indice de Masse Corporel) et leur indice d'Ashwell (ratio tour de taille/hauteur, et l'état cardio-métabolique) ont également été contrôlés. Ces locuteurs ont été répartis en trois groupes. Le premier groupe est constitué de 6 locuteurs « contrôle » non-fumeurs qui ne pratiquent pas d'activité physique régulière. Le deuxième groupe est composé de 4 locuteurs qui n'ont pas d'activité sportive régulière et qui fument plus de 5 cigarettes par jour depuis plus de deux ans. Le troisième groupe est formé par 4 sujets pratiquant un sport aquatique au moins deux fois par semaine depuis deux ans.

### 2.2 Mesures

Les données acoustiques ont été analysées à l'aide de Praat (Boersma, Weenink, 2016). Elles ont été segmentées de façon semi-automatique grâce à EasyAlign (Goldman, 2011). La détection des pauses s'est faite à partir d'indices perceptivo-visuels, en d'autres termes, les pauses silencieuses correspondent à un silence perceptible, accompagné d'une rupture d'activité acoustique visible sur le signal de parole, tandis que les pauses respiratoires sont repérées à partir d'une prise de souffle ou d'une expiration audible et visible (amplitude non nulle). Aucun seuil de durée n'a été appliqué. Les pauses initiales et finales n'ont pas été prises en compte. La tenue des occlusives non voisées, précédée d'une pause, a été fixée à 50ms.

Nous avons quantifié pour chaque tâche et chaque locuteur : le nombre et la durée des pauses silencieuses (PS) et des pauses respiratoires (PR). Une pause respiratoire a été déterminée à l'aide d'indices perceptivo-visuel et a été considérée comme un élément unique à partir du moment où un bruit de souffle était audible et visible. De plus ont été calculées : la vitesse d'élocution (VE), c'est-à-dire le nombre de syllabes par seconde en prenant en compte la durée des pauses, et la vitesse d'articulation (VA) ou le nombre de syllabes par secondes sans tenir compte de la durée des pauses.

### 2.3 Hypothèses

Ce corpus annoté devrait nous permettre d'étudier les stratégies de lecture que différents locuteurs adoptent lorsqu'ils sont soumis à un effort physique. Nous pouvons supposer que, compte tenu de l'effort physique fourni, induisant une compétition entre la respiration pour des raisons métaboliques et la respiration pour la production de la parole, l'ensemble des locuteurs pourrait produire des

pauses (silencieuses et respiratoires) plus nombreuses et plus longues lors de la deuxième phase d'enregistrement (1). Parmi les pauses réalisées, ce sont les pauses respiratoires qui devraient être significativement plus longues et plus nombreuses après l'effort (2). En ce qui concerne les différents groupes de locuteurs, les différences de l'organisation temporelle de la parole entre les deux conditions de production devraient être plus importantes chez les fumeurs, puisqu'ils devraient être plus sujets à un essoufflement remarquable. Corolairement, les performances seraient moins modifiées chez les locuteurs sportifs (3). Compte tenu de ces modifications, la vitesse d'élocution deviendrait plus lente (soit moins de syllabes par seconde) lors de l'enregistrement post effort physique, la vitesse d'articulation pourrait être augmentée (soit plus de syllabes par seconde), les locuteurs cherchant néanmoins à optimiser leur vitesse de production de la parole, ainsi que l'intelligibilité de celle-ci, sous la pression de l'essoufflement (4).

### 3 Résultats

Les statistiques ont été réalisées grâce au logiciel RStudio (2015). Le seuil de significativité a été considéré comme suit :  $p < 0,05$ . Les comparaisons de la distribution des différentes pauses ont été effectuées à l'aide d'un test de Kolmogorov-Smirnov, tandis que les comparaisons de durées ont été réalisées avec un U-test de Mann-Whitney-Wilcoxon.

#### 3.1 Pauses respiratoires (PR) et pauses silencieuses (PS)

##### 3.1.1 *Toutes pauses confondues*

Dans un premier temps, nous avons étudié la distribution de toutes les pauses (silencieuses et respiratoires) confondues, produites par nos locuteurs pendant la lecture du texte. Ainsi, nous avons compté la réalisation de 306 pauses (soit 21,26 pauses en moyenne, E.T. 6,53) avant l'effort et de 299 pauses après l'effort (soit 21,85 pauses en moyenne, E.T. 5,46) ; cette différence n'est naturellement pas significative.

En revanche, si l'on considère la durée de ces pauses (respiratoires et silencieuses) produites par l'ensemble des locuteurs après l'effort, nous constatons qu'elles sont significativement ( $p = 0.000$ ) plus longues (638ms en moyenne E.T. 373) que celles réalisées avant l'effort (448ms en moyenne E.T. 474). Les écarts-types sont importants pour les deux phases d'enregistrement, probablement parce que nous n'avons pas appliqué de seuil de détection des pauses (voir FIGURE 1). Ce paramètre ne permet toutefois pas de distinguer entre nos différents groupes de locuteurs ( $p = 0.494$ ), si les fumeurs ont effectivement des pauses plus longues après l'effort, les productions des locuteurs « contrôle » et sportifs se rapprochant.

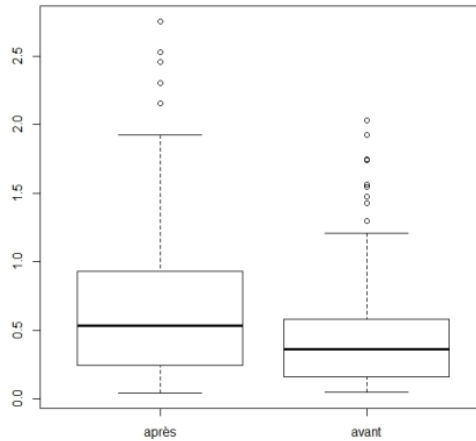


FIGURE 1 : Durées des pauses en secondes (PS et PR) pour tous les locuteurs après et avant effort

### 3.1.2 *Pauses respiratoires*

Dans un deuxième temps, nous avons cherché à savoir si les locuteurs réalisaient plus de pauses respiratoires lorsqu'ils sont essouffés. Quantitativement, ils réalisent effectivement plus de pauses respiratoires (222 pauses, soit une moyenne de 15,86 pauses, E.T. 7,09, par locuteur) après l'effort qu'avant l'effort (130 pauses, soit une moyenne de 9,28 pauses, E.T. 2,81, par locuteur). Notons que ces différences sont significatives ( $p = 0.007$ ). Comme précédemment, les pauses respiratoires produites après l'effort sont significativement ( $p = 0.013$ ) plus longues pour tous les locuteurs (voir FIGURE 2). Ainsi, elles durent en moyenne 619ms (E.T. 309) avant l'effort et 796ms (E.T. 457) après l'effort. Ce paramètre ne permet toutefois pas de distinguer entre les différents groupes de locuteurs ( $p = 0.348$ ). Notons toutefois (voir FIGURE 4) qu'après l'effort, ce sont les locuteurs sportifs qui réalisent en moyenne les pauses respiratoires les plus longues.

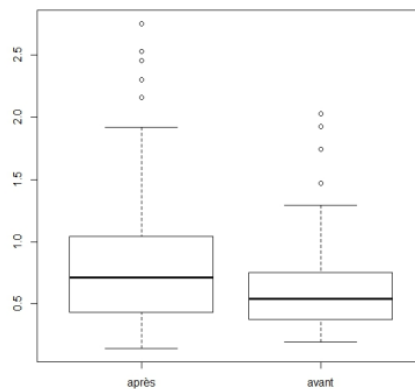


FIGURE 2 : Durées des pauses respiratoires en secondes pour tous les locuteurs après et avant effort

### 3.1.3 *Pauses silencieuses*

Dans un troisième temps, nous avons investigué la réalisation des pauses silencieuses. De façon intéressante, c'est le schéma inverse à celui présenté précédemment qui se réalise, c'est-à-dire qu'après l'effort, les locuteurs ne réalisent que 77 pauses (soit 5,5 pauses en moyenne, E.T. 3,55, par locuteur) alors qu'ils en réalisaient 176 (soit 12,57 pauses en moyenne, E.T. 5,89, par locuteur) avant l'effort. Cette différence est significative ( $p=0.001$ ). Parallèlement (voir FIGURE 3), la durée des pauses avant et après l'effort est également significativement différente ( $p = 0.007$ ) si l'on

considère l'ensemble des locuteurs. Ainsi, elles durent en moyenne 209 ms (E.T. 237) après l'effort, mais 288 ms (E.T. 296) avant l'effort.

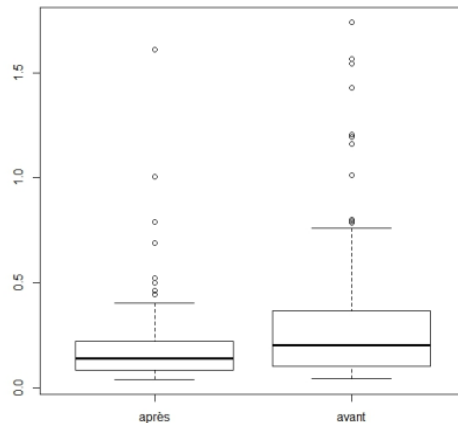


FIGURE 3 : Durées des pauses silencieuses en secondes pour tous les locuteurs après et avant effort

### 3.1.4 Ratio du nombre de pauses respiratoires et silencieuses

Compte tenu des résultats précédents, il nous semble intéressant de les synthétiser en proposant de présenter pour l'ensemble des locuteurs, la distribution des pauses respiratoires et des pauses silencieuses, lors des deux phases d'enregistrement (voir FIGURE 4). Il apparaît ainsi de façon relativement clair qu'entre les deux phases d'enregistrement, les locuteurs réalisent un nombre de pauses relativement constants mais dépendant du locuteur, et ne font que les redistribuer entre les pauses silencieuses (en rouge, plus nombreuses avant l'effort, sur le graphique de gauche) et les pauses respiratoires (en bleu, plus nombreuses après l'effort, sur le graphique de droite).

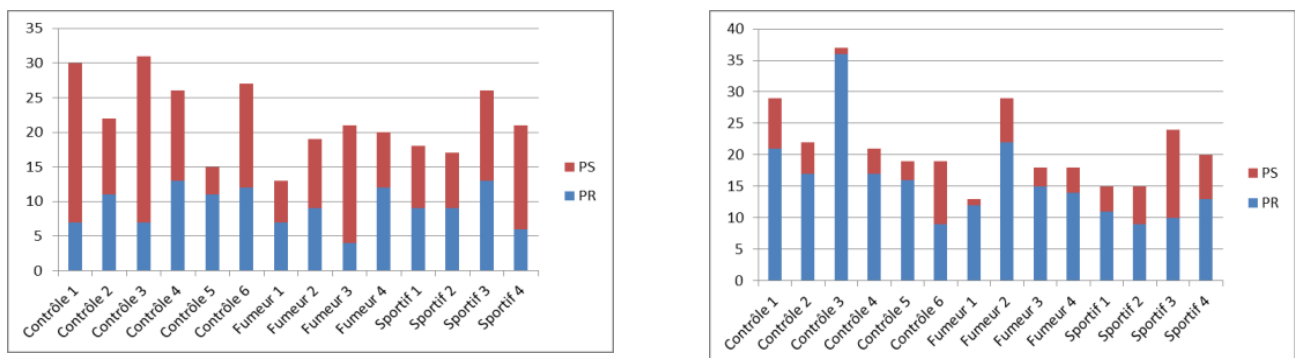


FIGURE 4 : Ratio du nombre de pauses silencieuses (PS en rouge) et de pauses respiratoires (PR en bleu) pour tous les locuteurs avant effort (à gauche) et après effort (à droite)

### 3.1.5 Variabilité inter-individuelle

LA FIGURE 5 montre que la durée des pauses (silencieuses et respiratoires) est soumise à beaucoup de variations inter-individuelles. Si certains locuteurs, comme le locuteur contrôle 2 par exemple, maintiennent des durées comparables et peu variables avant et après l'effort, d'autres présentent de grandes différences, comme le locuteur fumeur 2, par exemple, chez qui la durée et la variabilité des pauses augmentent après l'effort. De façon générale toutefois, la variabilité est moins importante avant l'effort (données en bleu) et les pauses généralement plus courtes. En revanche, la condition physique des locuteurs ne permet pas de prédire leurs stratégies post-effort.

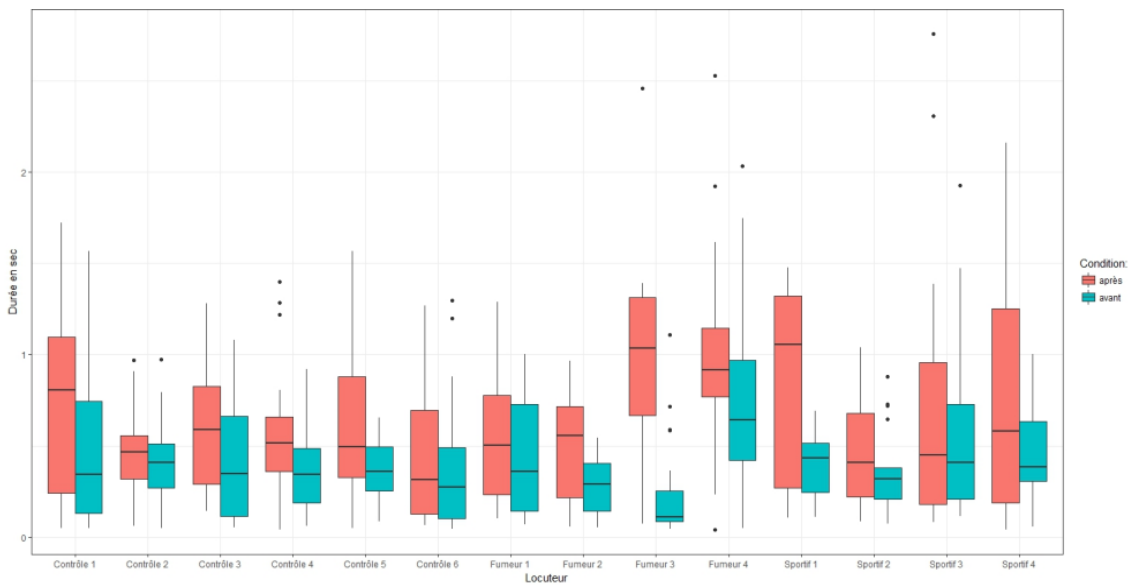


FIGURE 5 : Durées des pauses (PR et PS) en fonction de la tâche pour tous les locuteurs

### 3.2 Vitesses d'élocution et d'articulation

Enfin en dernier lieu, nous avons cherché à quantifier les vitesses d'élocution et d'articulation en syllabes par seconde (en prenant en compte les pauses ou sans prendre en compte les pauses, respectivement). En ce qui concerne ces deux mesures, elles ne sont pas modifiées par l'effort physique. La vitesse d'articulation est, en moyenne, de 6,15 syllabes par seconde (E.T. 0,75) avant l'effort et de 6,25 syllabes par seconde (E.T. 0,65) après l'effort. La vitesse d'élocution, elle, est en moyenne de 4,71 syllabes par seconde (E.T. 0,73) avant l'effort et de 4,26 syllabes par seconde après l'effort (E.T. 0,61). La condition physique du locuteur n'influence pas ce paramètre, les valeurs ne sont pas significativement différentes en fonction des différents groupes de locuteurs.

## 4 Conclusions

Dans ce travail, nous avons cherché à évaluer les conséquences d'un effort physique sur les stratégies de lecture chez 14 locuteurs à la condition physique différente, répartis dans 3 groupes (contrôle, fumeur et sportif). Notre première hypothèse n'est que partiellement confirmée puisque si les locuteurs produisent effectivement des pauses (respiratoires et silencieuses) plus longues après l'effort, elles ne sont pas pour autant plus nombreuses. En revanche, si l'on ne considère que les pauses respiratoires (avec prise de respiration visible sur le signal acoustique), celles-ci sont significativement plus longues pour l'ensemble des locuteurs après l'effort de même que leur nombre est significativement augmenté entre les deux enregistrements. L'étude des pauses silencieuses a permis de montrer un schéma opposé, à savoir que les pauses silencieuses après l'effort sont significativement moins nombreuses et plus courtes pour l'ensemble des locuteurs. En ce qui concerne les trois groupes de locuteurs, nos mesures n'ont pas permis de mettre au jour des stratégies particulières à un groupe de locuteurs. Les locuteurs fumeurs ont effectivement des performances moins bonnes que les autres locuteurs, sans que cela soit significatif. En revanche, les locuteurs sportifs et ceux qui ne pratiquent pas d'activité sportive régulière ont des résultats relativement proches. Notons qu'une pause a été considérée comme respiratoire à partir du moment

où il y avait une activité respiratoire observable sur le signal acoustique, ces résultats pourront être affinés en segmentant finement les pauses, en fonction des différents événements (expiration, silence, inspiration) qui peuvent se réaliser à l'intérieur des pauses que nous avons considérées comme un seul élément. Enfin, les vitesses d'articulation et d'élocution ne sont pas modifiées par l'effort physique. Les locuteurs réorganisent le ratio pauses respiratoires/pauses silencieuses après l'effort sans toutefois optimiser leur vitesse de production de la parole. Nous pouvons supposer que ces « choix » sont contraints par les besoins d'intelligibilité, avec notamment la nécessité de structurer les énoncés en groupe rythmiques, ou en groupes de sens, qui se rapprochent de ceux généralement observés en production plus ou moins naturelle de la parole. Enfin, il convient de signaler que la variabilité inter-individuelle est un paramètre important. Conformément aux travaux antérieurs, notre étude confirme que la lecture d'un même texte, avec la même consigne, peut conduire à des productions de nature très différentes et que les choix stratégiques de lecture se répercutent notamment sur la réalisation des pauses, et ce indépendamment de la condition physique du locuteur. Ces résultats sont notamment à prendre en compte dans les protocoles de rééducation des pathologies qui affectent le système pneumo-phonatoire.

## 5 Perspectives

Ce travail pourra être enrichi, d'une part, en augmentant le nombre de locuteurs dans les différents groupes et, d'autre part, en ajoutant d'autres catégories de locuteurs tels que les instrumentistes à vent ou les professionnels de la parole.

Dans ce travail, les pauses ont été étudiées en termes de distribution et de durée, il pourrait être intéressant d'observer l'endroit où elles se réalisent. De plus, d'autres paramètres tels que la qualité vocale, d'autres éléments prosodiques ou l'intensité des prises de respiration pourraient également être ajoutés. Il nous semble aussi pertinent d'étudier plus en détails les pauses respiratoires pour voir qu'elle est la proportion de prise de souffle dans ces éléments. Ces résultats pourraient également être comparés à des données en parole spontanée, puisque les stratégies des locuteurs dépendent en partie de la tâche de parole (Campionne & Véronis, 2004). Enfin, il nous semble que ce travail est un bon point de départ pour conduire des investigations sur la gestion des flux respiratoires (thoracique et abdominal) à l'aide d'un système d'acquisition de telles données, comme Respirace®.

## Remerciements

Les auteurs remercient Clémence Duroux et Solange Martay, étudiantes à l'école d'Orthophonie de Strasbourg, qui ont activement participé à l'élaboration de ce travail dans le cadre de leur stage recherche.

## Références

- BOERSMA P., WEENINK D. (2016). Praat: doing phonetics by computer (Version 6.0.21).
- CAMPIONE E., VERONIS J. (2004). Pauses et hésitations en français spontané. Présenté à XXVème Journées d'Etude sur la Parole, Fès - Maroc.
- DUEZ D. (2003), « Le pouvoir du silence et le silence du pouvoir : comment interpréter le discours politique », *MediaMorphoses*, (8), 77-82.



- FUCHS S., PETRONE C., KRIVOKAPIĆ J., HOOLE P. (2013). Acoustic and respiratory evidence for utterance planning in German. *Journal of Phonetics*, 41(1), 29-47.
- GOLDMAN J.-P. (2011). EasyAlign: an automatic phonetic alignment tool under Praat. In *Interspeech 2011* (p. 3233-3236). Florence.
- GROSJEAN F., COLLINS M. (1979). Breathing, pausing and reading. *Phonetica*, 36(2), 98-114.
- MITCHELL H L., HOIT J D., WATSON P J. (1996). Cognitive-linguistic demands and speech breathing. *Journal of Speech and Hearing Research*, 39(1), 93-104.
- PATE R R, PRATT M, BLAIR, S N , HASKELL W L., MACERA C. A., BOUCHARD C., ... KING A. C. (1995). Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA*, 273(5), 402-407.
- ROCHET-CAPELLAN A., FUCHS S. (2013). The interplay of linguistic structure and breathing in German spontaneous speech. In *14th Annual Conference of the International Speech Communication Association (Interspeech 2013)* (p. 1228). Lyon, France.
- SALTIN B, GRIMBY G. (1968). Physiological analysis of middle-aged and old former athletes. Comparison with still active athletes of the same ages. *Circulation*, 38(6), 1104-1115.
- SPERRY E E., KLICH R J. (1992). Speech breathing in senescent and younger women during oral reading. *Journal of Speech and Hearing Research*, 35(6), 1246-1255.
- STRANGERT E. (1991). Pausing in texts read aloud. In *Proceedings of International Congress of Phonetics Science (ICPHS)* (Vol. 4, p. 238-241). Aix-en-Provence (France).
- TESTON B., AUTESSERRE D. (1987). L' aéro-dynamique du souffle phonatoire utilisé dans la lecture d'un texte en français (p. 33-36). Présenté à International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS), Tallin, Estonie.
- TROUVAIN J., TRUONG K P. (2015). Prosodic characteristics of read speech before and after treadmill running. In *Interspeech 2015*. Dresde (Allemagne): International Speech Communication Association (ISCA).
- URRUTIA I., CAPELASTEGUI A., QUINTANA J M., MUÑOZGUREN N., BASAGANA X., SUNYER J., ECRHS-I. (2005). Smoking habit, respiratory symptoms and lung function in young adults. *European Journal of Public Health*, 15(2), 160-165.
- WHALEN D. H., HOEQUIST C. E ., SHEFFERT S. M. (1995), « The effects of breath sounds on the perception of synthetic speech », *The Journal of the Acoustical Society of America*, 97, 3147-3153.
- WANG Y T., GREEN J R., NIP I S B., KENT R D., KENT J F. (2010). Breath Group Analysis for Reading and Spontaneous Speech in Healthy Adults. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 62(6), 297-302.