HAL open science

# Adaptations sur le F1 et le débit en réponse à diverses perturbations

Ivana Didirková, Leonardo Lancia, Cécile Fougeron

## To cite this version:

Ivana Didirková, Leonardo Lancia, Cécile Fougeron. Adaptations sur le F1 et le débit en réponse à diverses perturbations. 6e conférence conjointe Journées d'Études sur la Parole (JEP, 31e édition), Traitement Automatique des Langues Naturelles (TALN, 27e édition), Rencontre des Étudiants Chercheurs en Informatique pour le Traitement Automatique des Langues (RÉCITAL, 22e édition), Jun 2020, Nancy, France. pp.163-171. hal-02798532v1

**HAL Id: hal-02798532**

**https://hal.science/hal-02798532v1**

Submitted on 7 Jun 2020 (v1), last revised 23 Jun 2020 (v3)

**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.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

*Actes de la 6e conférence conjointe Journées d'Études sur la Parole (JEP, 31e édition),*
*Traitement Automatique des Langues Naturelles (TALN, 27e édition),*
*Rencontre des Étudiants Chercheurs en Informatique pour le Traitement Automatique des Langues (RÉCITAL, 22e édition)*
*Nancy, France, 08-19 juin 2020*

# Adaptations sur le F1 et le débit en réponse à diverses perturbations

Ivana Didirková[1,2], Leonardo Lancia[2], Cécile Fougeron[2]
(1) UR 1569 TransCrit, Université Paris 8
(2) UMR7018 Laboratoire de phonétique et phonologie & CNRS, Université Paris 3
ivana.didirkova@univ-paris8.fr, {leonardo.lancia, cecile.fougeron}@sorbonne-nouvelle.fr

## Resume

Nous comparons les effets de deux conditions induisant des stratégies d'adaptation différentes (retour auditif masqué et bite-block) avec les effets des modifications intentionnelles du débit de parole. Nous examinons ces effets en termes de F1 et en termes de débit articulatoire. Nous comparons ensuite les effets de ces mêmes perturbations sur les mêmes locuteurs, afin de définir si les stratégies inter- et intra-individuelles varient en fonction de la boucle perturbée (auditive ou somatosensorielle). Cinq locutrices ont été enregistrées sans perturbation, avec un retour auditif masqué, avec un bite-block et avec des changements de tempo instruits (lent et rapide). Les résultats montrent une augmentation du débit en parallèle d'une augmentation du F1 des voyelles ouvertes, ce qui permet de supposer que les modifications spectrales et les modifications de débit ne seraient pas corrélées. La même augmentation de F1 est observée lors d'une modification intentionnelle du débit de parole.

## Abstract

**F1 and speech rate adaptations in response to various perturbations.**
We compare the effects of two conditions inducing different adaptation strategies (masked auditory feedback and bite-block) with the effects of intentional speech rate modifications. We examine these effects in terms of F1 and in terms of speech rate. We then study the effects of these perturbations on same speakers, in order to determine whether intra- and inter-speaker strategies vary depending on the perturbed loop (auditory or somatosensory). Five speakers were recorded in five conditions: without any perturbation, with masked auditory feedback, with a bite-block and with instructed speech rate modification (slow and fast). Our results show an increase of speech rate concurrently with an increase of open vowels' F1, which allows us to suppose that spectral modifications and speech rate modifications would not be in correlation. The same F1 increase is observed during intentional speech rate modification.

Mots-clés : Retour auditif masqué, bite-block, vitesse d'articulation, F1, perturbation
Keywords: Masked auditory feedback, bite-block, speech rate, F1, perturbation

Volume 1 : Journées d'Études sur la Parole, pages 163–171.
HAL : hal-02798532.
Cette œuvre est mise à disposition sous licence Attribution 4.0 International.

# 1 Introduction

Dans la production de la parole, les boucles de retours auditif et somatosensoriel jouent le rôle de mécanismes de contrôle qui vérifient de manière continue les deux sorties du processus de planification de la parole, à savoir les mouvements articulatoires et les patrons acoustiques qui en résultent (Houde et Nagarajan, 2011; Guenther, 2016 ; Parrell et al., 2019). Ces mécanismes permettent de corriger la sortie du système de production lorsque celle-ci est décalée par rapport aux intentions du locuteur. L'une des manières d'étudier expérimentalement cette adaptation consiste en une perturbation artificielle des niveaux auditif et / ou somatosensoriel. Ainsi, ces paradigmes expérimentaux de perturbation ont pour objectif de déstabiliser le fonctionnement typique du système, allant du masquage du feedback (masked auditory feedback, MAF) à l'introduction d'une sortie modifiée aux boucles de feedback avec par exemple des modifications de f0 ou de formants (frequency-shifted feedback, FSF), en passant par un décalage temporel entre les gestes utilisés pour rendre la parole audible et la sortie acoustique effective (delayed auditory feedback, DAF). D'autres s'intéressent davantage aux perturbations du retour somatosensoriel. Ces perturbations peuvent être induites à l'aide d'un bite-block (BB) devant être gardé dans la cavité buccale et stabilisant la mandibule (Hoole, 1987), d'un tube tenu entre les lèvres (lip tube) utilisé par exemple par Ménard et al. (2016), des perturbations mécaniques de la langue (Ito et al., 2019), voire des produits anesthésiants (Larson et al., 2008). Le principal postulat de ces études suppose un décalage entre le feedback attendu et réel, menant à une redéfinition des commandes motrices. Les réponses des participants à ces perturbations de feedback font ressortir des réactions variables. Par exemple, les études utilisant des modifications de f0 ou de structures formantiques ont, pour la plupart, démontré trois sortes de réactions possibles aux perturbations. Tandis que certains locuteurs ont tendance à compenser les perturbations induites, répondant ainsi à la perturbation en contrant cette dernière (si la perturbation consiste à augmenter la fréquence fondamentale, ces locuteurs vont l'abaisser), chez d'autres, la perturbation induit une réponse allant dans le sens de la perturbation (dans l'exemple, à augmenter la f0). Enfin, un troisième groupe de locuteurs ne réagira pas (ou peu) aux perturbations (Burnett et al., 1998; Jones & Munhall, 2000; MacDonald et al., 2011). Notons toutefois que la perturbation d'un paramètre n'entraîne pas uniquement les modifications de ce même paramètre et, inversement, les modifications d'un paramètre peuvent être la résultante d'une perturbation ne touchant pas directement ce paramètre. Il a par exemple été démontré que la simple absence de retour auditif perturbe le contrôle du f0 (Mallard et al., 1978) et fait augmenter le F1 des voyelles (Kirchhuebel, 2010). De plus, les réactions aux perturbations comme le MAF ou DAF ont également un impact sur certaines caractéristiques globales comme le débit de parole (Jacks & Haley, 2015; Maruta et al., 2014).

Ici, nous proposons de poursuivre ces recherches à travers la comparaison entre les effets des perturbations du retour auditif et ceux des perturbations du retour somatosensoriel. Plus concrètement, nous nous intéressons aux changements induits par le MAF et le BB et ce, en termes de caractéristiques spectrales et en termes de débit. La revue de la littérature montre en effet que ces deux paradigmes seraient à l'origine de stratégies adaptatives différentes de la part des locuteurs. Si l'on suppose que le MAF induit l'effet Lombard (Kirchhuebel, 2010), cette perturbation entraîne une augmentation de l'amplitude du signal acoustique visant à surmonter le bruit de fond et un

changement des caractéristiques spectrales visant à les rendre plus saillantes (Garnier et al., 2006). De l'autre côté, la parole avec un BB forcerait le locuteur à modifier ses commandes motrices, afin de garder les caractéristiques spectrales constantes (Fowler & Turvey, 1981). Ainsi, ces deux paradigmes de perturbation permettent de se pencher sur la fonction et le rôle des phénomènes adaptatifs en production de la parole : le MAF induirait une modification du spectre ayant une fonction communicative, ce qui n'est pas le cas pour les modifications du spectre dues à la présence du BB. Par ailleurs, le débit de parole sous MAF est aussi plus lent par rapport à celui de la parole pas perturbée (Garnier et al., 2010). Il s'agit dans ce cas de comprendre si cette réduction de débit est une conséquence des changements spectraux et d'intensité (supposant que l'hyperarticulation est corrélée avec un ralentissement de débit), ou s'il a la fonction de rendre plus saillants les sons de parole dans le but de préserver leur fonction communicative. Pour mieux caractériser la relation entre les modifications de débit et la saillance spectrale, nous allons comparer les effets du MAF et du BB avec les effets des modifications du débit de parole intentionnellement produit par les locuteurs. Un second objectif de cette étude est de comparer les effets de ces perturbations sur les mêmes locuteurs, afin de définir si les stratégies inter- et intra-individuelles varient selon que la perturbation concerne la boucle auditive ou la boucle somatosensorielle.

# 2 Méthodologie

Cinq locutrices de langue maternelle française, appariées en âge et en catégorie socio-professionnelle, ont été enregistrées durant plusieurs perturbations de leurs retours auditif et somatosensoriel (retour auditif masqué par un bruit, retour auditif retardé, retour auditif avec modification de fréquence fondamentale, *bite-block*), ainsi que durant une modification de débit de parole avec débit imposé. Chacune des perturbations a été administrée séparément des autres.

Les locutrices ont participé à trois séances d'approximativement 45 minutes chacune. Les séances se déroulaient dans une pièce calme. La première consistait en un enregistrement de la *baseline* (sans perturbation), suivi de la condition MAF, elle-même suivie d'une condition de lecture à débit rapide[1]. Pendant la condition de MAF, les locutrices étaient équipées d'un casque transmettant un bruit de « cocktail party », tandis que leur voix était transmise par voie aérienne. Avant de commencer cette phase de l'expérience, il leur a été demandé de compter en boucle de 1 à 10 pendant qu'elles entendaient leur voix transmise par le casque (sans bruit) et que le volume de ce signal était augmenté graduellement. Les locutrices devaient s'arrêter lorsque l'intensité de la voix véhiculée par le casque était égale à celle de leur voix transmise par voie aérienne. Cela a permis de régler le volume du bruit de « *cocktail party* » de façon à obtenir une différence de 12 dB entre son intensité et celle de la voix des locutrices. La deuxième session comprenait les modifications de f0 et l'utilisation de DAF, conditions qui ne feront pas l'objet de cette étude. Enfin, la troisième session contenait la lecture des phrases avec le *bite-block* (parallélépipède en plexiglass, dont les arrêtes ont été limées, percé d'un trou servant à l'attache d'un fil de nylon pour éviter les risques de déglutition ; le fil reste à l'extérieur de la bouche lors de la production sans qu'il perturbe la fermeture des lèvres) et dans une condition

[1] Nous appellerons « tempo rapide » et « tempo lent » les conditions de, respectivement, débit rapide instruit et débit lent instruit.

où on leur demandait d'adopter un tempo lent. Les détails concernant les réglages des conditions sont décrits dans le Table 1.

| Condition | Précisions |
|---|---|
| Bite-block | 10*15*5mm |
| MAF | Bruit de « cocktail party » +12dB |
| Tempo | Guidé par curseur à 1,4 syll/sec (lent) ou 6syll/sec (rapide) |

TABLE 1 : Valeurs des perturbations pour les conditions utilisées

| | |
|---|---|
| 1. | La pita d'Arabelle était sirupeuse. |
| 2. | Le papi de Taschri loue des skis de fond. |
| 3. | Les Beschki invitaient souvent tata Louise. |
| 4. | Le ch'ti, c'était comme le chinois pour p**a**pa. |
| 5. | Le bâti parisien était très coûteux. |

TABLE 2: Corpus de phrases à lire

Dans chaque condition, il a été demandé aux locutrices de lire une phrase apparaissant à l'écran. Un total de cinq phrases a été utilisé (TABLE *2*). Chaque phrase était lue à 20 reprises par la locutrice avant de passer à une nouvelle phrase. Les phrases apparaissaient dans un ordre aléatoire, si bien que leur ordre changeait à chaque condition et pour chaque locutrice. Au total, chaque locutrice a donc lu 900 phrases (5 phrases * 20 répétitions par phrase * 9 conditions).

Les données ont été segmentées semi-automatiquement utilisant EasyAlign (Goldman, 2011) avant une vérification manuelle des segmentations. Le débit en syllabes par seconde a ensuite été mesuré pour chaque phrase. Cette mesure a notamment permis de tester l'effet de la condition / de la perturbation sur la vitesse d'articulation, le MAF étant connu pour induire des variations de débit. Nous avons ensuite mesuré la fréquence de F1 des premiers /a/ de « p**a**pa » (cf. phrase 4 du corpus). Cette mesure a été prise sur le milieu de la voyelle et représente une moyenne des mesures à 40%, 50% et 60% de la durée totale de la voyelle. Les données sur le F1 ont été retenues afin de comparer les caractéristiques spectrales de la voyelle liées à l'aperture, notamment du fait de l'utilisation du *bite-block*. De plus, selon Kirchhuebel (2010), le MAF fait augmenter le F1 des voyelles. L'effet de chacune des conditions (baseline, MAF, BB, tempo lent, tempo rapide) sur (1) le débit et (2) le F1 du /a/ a été testé dans R (R Core Team, 2017) en deux étapes. D'abord, l'effet global de la condition (5 niveaux) a été testé avec le package *lme4* (Bates et al., 2019) en utilisant un modèle linéaire mixte. Les variations liées aux locuteurs sont modélisées par une structure aléatoire par locuteur. Dans un deuxième temps, des comparaisons par paires avec le package *emmeans* (Lenth et al., 2020) ont été effectuées par condition et ce, pour chaque locuteur et avec correction de Bonferroni pour comparaisons multiples. Enfin, nous avons calculé, pour le débit et pour le F1, le coefficient de variation (ET / moyenne) des 20 répétitions par locutrice et par condition.

# 3 Résultats

## 3.1 Débit de parole

Pour le groupe entier, la condition montre un effet significatif sur le débit ($p < 0,001$). Cet effet se traduit par une augmentation de vitesse d'articulation en BB ($t = 5,347$ ; $p < 0,001$), tempo rapide

(t = 35,68 ; p < 0,001) et MAF (t = 12,053 ; p < 0,001) et une baisse de cette même vitesse en tempo lent (t = -116,793 ; p < 0,001).

Les comparaisons par paires montrent un effet des conditions sur le débit de la parole chez toutes les locutrices (Figure 1). La locutrice S01 augmente sa vitesse d'articulation de manière significative en condition BB (t = -3,378 ; p = 0,008), MAF (t = -3,993 ; p = 0,0008) et en tâche de tempo rapide (t = -34,849 ; p < 0,001) par rapport à la baseline. Elle abaisse son débit en tempo lent comparé à la baseline (t = 54,642 ; p < 0,001). La locutrice S02 augmente son débit en situation de MAF (t = -3,015 ; p = 0,02) et tempo rapide (t = -4,773 ; p < 0,001). Son débit est plus lent que la baseline en tempo lent (t = 81,917 ; p < 0,001). La vitesse d'articulation de la locutrice S03 est significativement plus rapide en BB (t = -7,826 ; p < 0,001), MAF (t = -18,444 ; p < 0,0001) et tempo rapide (t = -28,030 ; p < 0,001) qu'en baseline. Son débit est plus lent en tempo lent (t = 47,343 ; p < 0,001). Quant à S04, on observe une augmentation de débit en MAF (t = -4,175 ; p = 0,0004) et en tempo rapide (t = -18,428 ; p < 0,001), ainsi qu'une baisse de débit en tempo lent (t = 71,325 ; p < 0,001) par rapport à la baseline. Enfin, chez S05, le BB (t = -5,245 ; p < 0,001), le MAF (t = -4,46 ; p = 0,001) et le tempo rapide (t = -13,539 ; p < 0,001) font augmenter sa vitesse d'articulation comparé à la baseline et le tempo lent le fait baisser (t = 66,844 ; p < 0,001).

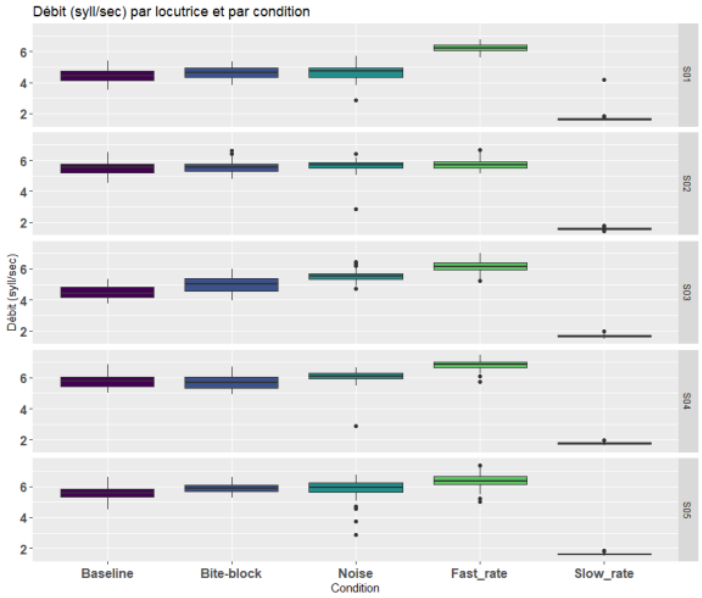


FIGURE 1: Débit d'articulation (syll/sec) par locuteur et par condition (noise = MAF, fast_rate = tempo rapide, slow_rate = tempo lent).

Nous nous sommes ensuite intéressés aux effets des conditions sur la variabilité du débit (FIGURE *2*) en calculant le coefficient de variation (écart type / moyenne), dans l'objectif d'étudier la stabilité des réactions aux conditions. Les résultats montrent que la vitesse d'articulation est plutôt stable à travers les conditions pour la plupart des locutrices. Il est toutefois à noter que la locutrice S03 – et elle seule – présente davantage de variation en condition de tempo rapide par rapport à la baseline (p = 0,04),

par rapport au MAF (p = 0,01) et par rapport au BB (p = 0,005). De même, sa vitesse d'articulation est plus variable en tempo lent par rapport au BB (p = 0,01).

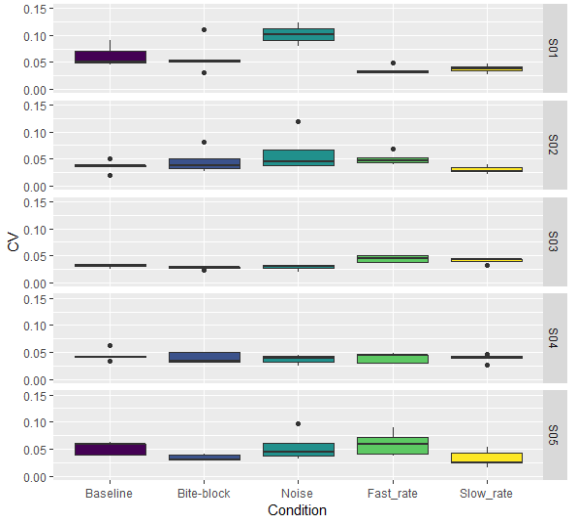


FIGURE 2: Coefficient de variation (ET / moyenne) de la vitesse d'articulation (syll/sec) par condition et par locuteur

## 3.2 Premier formant (F1)

La condition montre un effet sur le F1 (en Hz) (p < 0,001), avec une augmentation de F1 dans toutes les conditions : en BB (t = 5,429 ; p < 0,001), MAF (t = 3,735 ; p < 0,001), tempo rapide (t = 3,502 ; p < 0,001), et en tempo lent (t = 16,831 ; p < 0,001).

Les réactions individuelles sont illustrées sur la FIGURE 3. Le sujet S01 augmente son F1 en BB (t = -5,431 ; p < 0,001), MAF (t = -3984 ; p = 0,0011), tempo rapide (t = -4,383 ; p < 0,001) et tempo lent (t = -15,111 ; p < 0,001) comparé à la baseline. La locutrice S02 modifie son F1 en tempo lent uniquement par rapport à la baseline (t = -9,245 ; p < 0,001) et ce, en l'augmentant. Chez S03, une augmentation du F1 est observée en BB (t = 12,509 ; p < 0,001), en MAF (t = -8,263 ; p < 0,001), en tempo rapide (t = -9,544 ; p < 0,001) et en tempo lent (t = -26,257 ; p < 0,001). S04 augmente le F1 en BB (t = -4,547 ; p < 0,001), en MAF (t = -5,079 ; p < 0,001) et en tempo lent (t = -21,363 ; p < 0,001) par rapport à la baseline. Enfin, la locutrice S05 ne modifie son F1 de manière significative dans aucune condition.

L'examen du coefficient de variabilité du F1 (en Hz) entre toutes les répétitions par condition renforce les différences individuelles, dans la mesure où la variabilité intra-locuteur n'est pas systématiquement la plus élevée dans une tâche particulière mais change en fonction de la locutrice. Ainsi, tandis que S01 et S04 sont les plus variables dans la baseline, chez S02 et S05 c'est surtout dans la condition de tempo lent qu'elles sont variables, avec également une variabilité plus importante dans les conditions BB et MAF pour S05. Enfin, S03 présente une certaine stabilité à travers les conditions (FIGURE *4*).

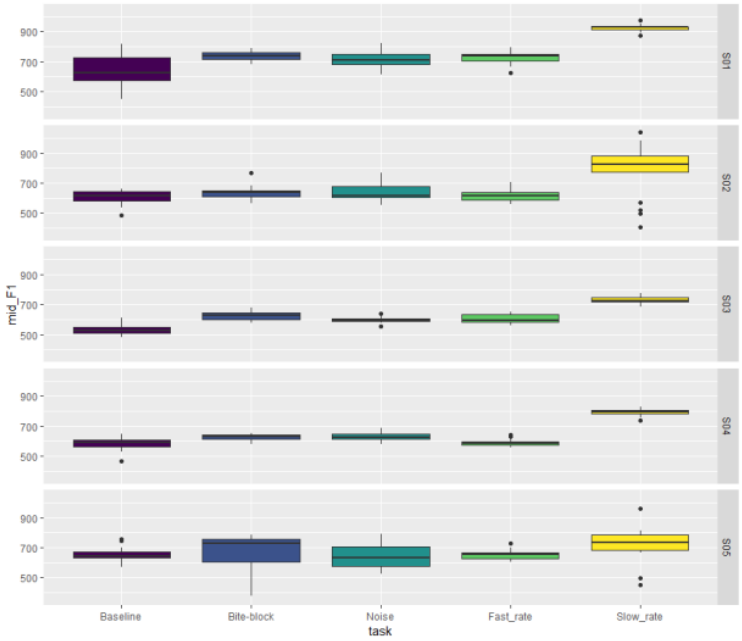


FIGURE 3 : Valeur moyenne de F1 (moyenne entre 40%, 50% et 60% de la durée totale de la voyelle) par locutrice et par condition

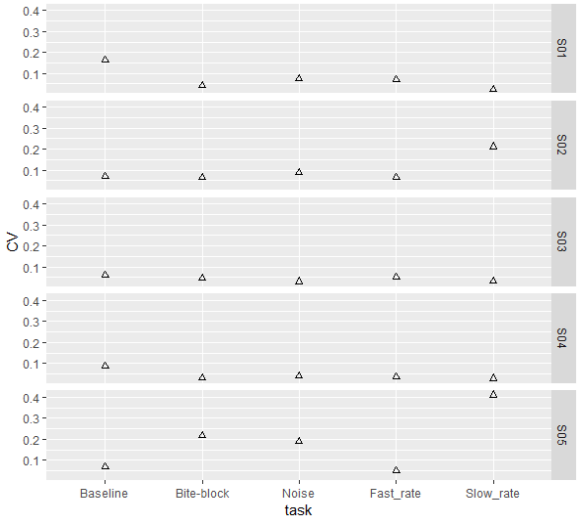


FIGURE 4: Coefficient de variation (ET / moyenne) du F1 par condition et par locutrice

# 4 Discussion

Nous avons comparé la production de la parole dans différentes conditions d'élocution : lorsque le débit de parole est imposé, lorsque le retour auditif est masqué et lorsque des contraintes articulatoires sont modifiées par la présence d'un bite-block affectant la configuration de la cavité buccale.

L'objectif de l'étude était d'examiner les réactions à ces perturbations en termes de débit de parole et du premier formant, ainsi que les variations intra- et inter-individuelles dans ces réactions.

Nos résultats montrent que les réactions aux modifications ne sont pas particulièrement variables quant au débit de parole : toutes les locutrices ont réagi à l'absence de retour auditif par une augmentation de leur vitesse d'articulation et, à l'exception de deux d'entre elles, elles ont également augmenté leur vitesse d'articulation en parole avec le BB. Aucune locutrice n'a diminué son débit durant ces deux perturbations. L'augmentation du débit de parole sous le MAF est un résultat intéressant qui pourrait s'expliquer en partie par le fait que les locutrices tentent de mettre terme le plus rapidement possible aux perturbations, inconfortables, en augmentant leur vitesse d'articulation (Jacks & Haley, 2015). Quant à la modification des caractéristiques spectrales, les résultats font état d'une stratégie variable. Tandis que trois locutrices augmentent leur F1 en parole avec BB, en situation de MAF et avec le tempo modifié par rapport à la baseline, une locutrice ne modifie jamais son F1 et une dernière ne l'augmente qu'en situation de tempo lent. Donc, si modification il y a, elle va dans le sens de l'augmentation du F1 car aucune locutrice n'abaisse ce formant de manière significative en condition de perturbation. Dans le cas du BB, la variété des comportements observés peut s'expliquer en faisant l'hypothèse que les deux locutrices qui ne montrent pas de différences par rapport à la condition de baseline aient prêté davantage d'attention au retour somatosensoriel (et que, par conséquent, elles aient compensé la perturbation de la forme de la cavité buccale), tandis que les locutrices qui ont montré une augmentation du F1 auraient prêté davantage d'attention au retour acoustique. En effet, le bite block augmente l'aperture de la cavité buccale. Du moment qu'une aperture plus importante ne rend pas le /a/ moins distinct des autres phonèmes, ces locutrices n'ont pas de raison de compenser cette modification. Concernant le MAF, ce dernier induit une augmentation du F1 chez 3 locutrices également. Cette réaction est conforme aux résultats obtenus dans la littérature (Kirchhuebel, 2010). Ce résultat, combiné à l'augmentation de débit, indique que les locutrices en question décorrèlent le débit et l'aperture vocalique, dans la mesure où l'on pourrait s'attendre à ce que le F1 baisse dans un souci d'économie de geste lorsque le débit augmente. Or, ce n'est pas ce que l'on observe ici et ce, aussi bien avec le MAF qu'en tempo rapide sans autre perturbation. On peut en déduire qu'une réduction de la vitesse d'élocution en réponse au MAF (cf. par ex. Garnier et al., 2006) a une fonction communicative et qu'elle n'est pas une simple conséquence d'une augmentation de la précision articulatoire / de l'hyperarticulation des voyelles. De manière intéressante, les locutrices ne modifiant pas leur F1 en MAF ne le modifient pas en BB non plus. Cela pourrait être interprété en support de l'hypothèse que le biais vers le retour somatosensoriel ou vers le retour acoustique est indépendant du type de perturbation. Bien évidemment, cette hypothèse doit être confirmée en comparant les résultats obtenus avec ceux issus de l'analyse des réponses à d'autres types de perturbation.

# Remerciements

Cette étude a été financée par le projet MoSpeeDi - CRSII5_173711/1 du Fond National Suisse de la Recherche Scientifique et par le programme "Investissements d'Avenir" ANR-10-LABX-0083 (Labex EFL).

# Références


BATES, D. M., MAECHLER, M., BOLKER, B., WALKER, S., CHRISTENSEN, R. H. B., SINGMANN, H., DAI, B., SCHEIPL, F., GROTHENDIECK, G., GREEN, P., & FOX, J. (2019). *Package « lme4 »* (1.1-21) [R; R].

BURNETT, T. A., FREEDLAND, M. B., LARSON, C. R., & HAIN, T. C. (1998). Voice F0 responses to manipulations in pitch feedback. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *103*(6), 3153-3161. DOI : 10.1121/1.423073

FOWLER, C., & TURVEY, M. (1981). Immediate compensation in bite-block speech. *Phonetica*, *37*(5-6), 306-326.

GARNIER, M., BAILLY, L., DOHEN, M., WELBY, P., & LŒVENBRUCK, H. (2006). An Acoustic and Articulatory Study of Lombard Speech : Global Effects on the Utterance. *INTERSPEECH-2006*, 2246-2249.

GARNIER, M., HENRICH, N., & DUBOIS, D. (2010). Influence of Sound Immersion and Communicative Interaction on the Lombard Effect. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *53*(3), 588-608. https://doi.org/10.1044/1092-4388(2009/08-0138).

GOLDMAN, J.-P. (2011). *EasyAlign : An automatic phonetic alignment tool under Praat*.

GUENTHER, F. H. (2016). *Neural Control of Speech*. The MIT Press.

HOOLE, P. (1987). *Bite-block speech in the absence of oral sensibility*. *4*, 16-19.

ITO, T., CAILLET, J.-L., & PERRIER, P. (2019). Posture stabilization of the tongue for speech : Responses to mechanical perturbation. *Proceedings of the 19th International Congress of Phonetic Sciences*, 1838-1842.

JACKS, A., & HALEY, K. L. (2015). Auditory Masking Effects on Speech Fluency in Apraxia of Speech and Aphasia : Comparison to Altered Auditory Feedback. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *58*(6), 1670-1686. DOI : 10.1044/2015_JSLHR-S-14-0277

JONES, J. A., & MUNHALL, K. G. (2000). Perceptual calibration of F0 production : Evidence from feedback perturbation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *108*(3), 1246. DOI :10.1121/1.1288414

KIRCHHUEBEL, C. (2010). The effects of Lombard speech on vowel formant measurements. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *128*(4), 2395-.

LARSON, C. R., ALTMAN, K. W., LIU, H., & HAIN, T. C. (2008). Interactions between auditory and somatosensory feedback for voice F 0 control. *Experimental Brain Research*, *187*(4), 613-621. DOI : 10.1007/s00221-008-1330-z

LENTH, R., SINGMANN, H., LOVE, J., BUERKNER, P., & HERVE, M. (2020). *Package « emmeans »* (Version 1.4.4) [R].

MACDONALD, E. N., PURCELL, D. W., & MUNHALL, K. G. (2011). Probing the independence of formant control using altered auditory feedback. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *129*(2), 955-965. DOI : 10.1121/1.3531932

MALLARD, A., RINGEL, R., & HORII, Y. (1978). Sensory contributions to control of fundamental frequency of phonation. *Folia Phoniatrica*, *30*, 199-213.

MARUTA, C., MAKHMOOD, S., DOWNEY, L. E., GOLDEN, H. L., FLETCHER, P. D., WITOONPANICH, P., ROHRER, J. D., & WARREN, J. D. (2014). Delayed auditory feedback simulates features of nonfluent primary progressive aphasia. *Journal of the Neurological Sciences*, *347*(1-2), 345-348. DOI : 10.1016/j.jns.2014.09.039

MÉNARD, L., PERRIER, P., & AUBIN, J. (2016). Compensation for a lip-tube perturbation in 4-year-olds : Articulatory, acoustic, and perceptual data analyzed in comparison with adults. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *139*(5), 2514-2531.

R CORE TEAM. (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.