

EFFETS DU DEBIT SUR LES PARAMETRES ACOUSTIQUES ET TEMPORELS DU SIGNAL DE PAROLE

L. FALEK, R. DJERADI, et A. DJERADI

Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene (USTHB)
Laboratoire de communication parlée et de traitement du signal
Faculté d'Electronique et d'Informatique
BP 32, El Alia, Alger, ALGERIE
E-mail: lilalcpts@yahoo.fr

RESUME

Cette étude porte sur les effets du débit en production de la parole dans une langue seconde. Six locuteurs, issus de régions géographiques différentes, ont produit des phrases en arabe littéral, porteuses de fricatives (spécifiques de l'arabe), à des vitesses d'élocution différentes. Les locuteurs choisis sont: deux libanais (CH et LI) dont le dialecte est arabe et très ressemblant à l'arabe littéral, deux algérois (FE et MA) dont le dialecte est arabe mais moins ressemblant à l'arabe littéral que le dialecte libanais et deux Kabyles (SA et NA) dont le parlé est un dialecte de la langue berbère qui est très différent de l'arabe littéral. Le but de cette étude est de mettre en évidence les stratégies compensatoires adoptées par chaque locuteur en contrainte de débit. L'étude, portant sur l'analyse temporelle et fréquentielle (formantique) de CVC prélevés dans les phrases du corpus, a montré des différences au niveau des patrons temporels (durées relatives des CVC par rapport à la durée de la phrase considérée) et fréquents (valeurs des formants F1 et F2 de la voyelle du CVC considéré), en débit rapide. Ces différences semblent être liées au parlé des locuteurs, à savoir : - des patrons temporels fixes avec des patrons fréquents variables et une centralisation totale des voyelles pour les locuteurs libanais (CH et LI), si l'on compare les résultats obtenus en vitesse d'élocution normale avec ceux obtenus en vitesse d'élocution rapide. La compensation est faite sur le plan fréquentiel seulement (une seule compensation), ce qui pourrait faire penser à une bonne maîtrise du contrôle moteur en contrainte de débit. - des patrons temporels variables avec des patrons fréquents constants et très peu de centralisation, pour les locuteurs algérois (FE et MA). La compensation est faite sur le plan temporel seulement (une seule compensation). Ce qui pourrait faire penser à un contrôle moteur moins fin que CH et LI en contrainte de débit. - des patrons temporels et fréquents variables et peu de centralisation (moins que CH et LI et plus que FE et MA) pour les locuteurs SA et NA. La compensation est faite sur les deux plans: fréquentiel et temporel (deux compensations). Ce qui ferait penser à un contrôle moteur relativement mauvais en contrainte de débit. Les stratégies compensatoires adoptées par ces trois types de locuteurs semblent être influencées par leur dialecte.

ABSTRACT

This study treats the effects of speech rate in a second language. Six speakers from different geographical areas have produced sentences in written Arabic, carrying fricatives (Arabic specifications), at different speeds of elocution. The selected speakers are: two Lebanese (CH and LI), two inhabitants of Algiers (FE and MA) and two Kabyles (SA and NA, in northern east of Algiers). The purpose of this study is to highlight the compensatory strategies adopted by each speaker with flow constraint. The study carried on the temporal and frequential (formantic) analysis of CVC that are extracted from the corpus sentences, has shown differences on the level of the temporal model (relative durations of CVC compared to the sentence duration) and frequential model (formants values F1 and F2 of the vowel of the considered CVC), in fast flow. These differences can be related to the spoke of the speakers, such as: - Fixed temporal models with variable frequential models and a total centralization of the vowels for the Lebanese speakers (CH and LI). The compensation is made only on the frequential level (one compensation), which could make think of a good motor control in flow constraint. - Variable temporal models with constant frequential models and very little centralization, for Algiers speakers (FE and NA). The compensation is only made on the temporal level (one compensation), which could make think of less smooth motor control than CH and LI in flow constraint. - Variable temporal and frequential models and little centralization (less than CH and LI and more than FE and NA) for speakers SA and MA. The compensation is made on both frequential and temporal levels (two compensations). This could make think of a relatively bad motor control in flow constraint. The compensatory strategies adopted by these three types of speakers seem to emphasize on the closely dependency to the second language, namely the written Arabic.

1. INTRODUCTION

Les études portant sur la parole perturbée constituent des éléments importants dans la compréhension du contrôle moteur. Il est possible de perturber la parole de plusieurs façons : en modifiant directement ou indirectement la géométrie du conduit vocal ou en interrompant un certain type de feedback (tactile, auditif ou autre) [8].

La nature de la perturbation utilisée dans cette étude vise à contraindre l'inertie des muscles lors de la production de la parole, en faisant varier la vitesse d'élocution de façon contrôlée.

Le but de la perturbation de la parole est de mettre en évidence les phénomènes compensatoires qui surgissent en condition de contrainte sur les plans articulatoire et acoustique pour la production de la parole. Aussi, McFarland et al. (1996) [4] ont fait ressortir une différence importante pour ce qui a trait aux expériences de perturbation de la parole : la production des voyelles se trouve plus affectée par une modification d'une fonction orale. L'étude du comportement des voyelles en contrainte de débit est donc révélatrice d'informations sur le contrôle moteur de la parole.

Par ailleurs, lors de la production de la parole, les gestes articulatoires visent à atteindre une cible de nature acoustico-auditive (le feedback auditif dans le processus de production de la parole est très important [6][3][5]). Cela veut dire que chaque locuteur a des patrons articulatoires construits dès son enfance à partir de sa langue maternelle, dont l'apprentissage a été fait sur la base de l'entendu (s'entendre parler permet de mieux atteindre les cibles acoustiques).

Une conséquence de la perturbation de la production de la parole a été mise en évidence par Lane et al 2005 [11]. Dans leur étude, ces derniers, en utilisant le paradigme de la plaque occlusale pour étudier une population ayant des problèmes d'audition, c'est-à-dire les adultes atteints de surdité à un stade post-linguistique, ont remarqué que les espaces vocaliques (moyenne des distances euclidiennes entre toutes les paires possibles de voyelles donc surface des espaces vocaliques) des locuteurs sourds avec un implant auditif étaient plus petits lorsque ce dernier était hors fonction que lorsqu'il fonctionnait. Cela veut dire que le contrôle moteur de la parole est avant tout conditionné par l'appris donc l'entendu.

Des études sur d'autres types de perturbations, dues à des pathologies [10] (bégaiement par exemple) ou à des émotions [12] (colère, joie) ont révélé des diminutions des espaces vocaliques. Il est donc nécessaire d'analyser l'impact de la contrainte sur les espaces vocaliques des voyelles considérées, afin de mieux comprendre le comportement articulatoire de chaque locuteur.

Cette étude porte sur les compensations articulatoires occasionnées par une perturbation artificielle de la parole : la variation de la vitesse d'élocution. La comparaison est faite sur la base de l'expression de l'arabe littéral (ou arabe classique) de locuteurs ayant des langues maternelles différentes. Le but est de montrer comment chaque locuteur agit sur ses patrons temporels et fréquentiels pour

compenser son déficit dans l'expression orale d'une langue seconde, ici l'arabe littéral.

2. METHODOLOGIE

Nous utilisons le débit comme paradigme de recherche, appliqué à un corpus de phrases arabes. Les phrases du corpus sont une expression de l'arabe classique et non de l'arabe dialectal pour qu'il n'y ait pas de différence entre les locuteurs sur le plan de leurs origines (l'arabe classique étant une langue apprise pour les six locuteurs, ce n'est pas une langue parlée). Les six locuteurs sont des étudiants.

Ces locuteurs différents de par leur langue maternelle sont :

- CH et LI, libanais vivant au Liban, de langue maternelle libanaise, se rapprochant beaucoup de l'arabe littéral (le dialecte libanais est un dialecte de la langue arabe).
- FE et NA sont algérois vivant à Alger, de langue maternelle: dialecte algérois (le dialecte algérois est un dialecte de la langue arabe), pas très proche de l'arabe littéral.
- SA et MA sont kabyles vivant à Tizi Ouzou (nord est d'Alger), de langue maternelle kabyle (le dialecte kabyle est un dialecte de la langue berbère) très différente de l'arabe littéral. Ils ont appris l'arabe à l'école pour la première fois.

2.1. Particularité des phrases du corpus

Les phrases renferment trois fricatives spécifiques de l'arabe : /**ʕ**/ ou (/ɣ/); /**ħ**/ ou (/ʕ/); /**h**/ ou (**ح**). afin de mettre le locuteur en contexte consonantique variable de langue arabe. Notons que ces trois fricatives font partie aussi de l'alphabet kabyle et des dialectes algérois et libanais.

Pour plus de facilité en écriture, nous représenterons :

Le /**ʕ**/ ou (/ɣ/) par /**a_**/;

Le /**ħ**/ ou (/ʕ/) par /**h**/ (pas de changement) ;

Le /**h**/ ou (**ح**) par /**h_**/.

Les phrases sont interrogatives et au nombre de neuf : trois pour chaque fricative, conjuguées à trois temps différents (trois contextes vocaliques arabes (/a/, /i/, /u/)). La forme interrogative des phrases permet à tous les locuteurs, de garder la même expression d'élocution, quel que soit le débit, pour toutes les phrases du corpus.

Les 9 phrases du corpus (3 pour chaque fricative) sont les suivantes :

Pour le /**ʕ**/ ou (/ɣ/) représenté par /**a_**/ :

/men saa_ala ? / ; /men saa_ila ? / ; /men saa_ula ? /

Pour le /**ħ**/ (/ʕ/) représenté par /**h**/ :

/men sahala ? / ; /men sahila ? / ; /men sahula ? /

Pour le /**h**/ ou (**ح**) représenté par /**h_**/ :

/men sah_ala ? / ; /men sah_ila ? / ; /men sah_ula ? /.

2.2. Le nombre de phrases du corpus

Le corpus est constitué des neuf phrases précédentes, dites avec 10 répétitions par locuteur, dans trois débits différents:

normal, rapide, lent. Le corpus comporte alors :

$$9 \times 10 \times 3 \times 6 = 1620 \text{ phrases}$$

2.3 Conditions d'enregistrement

Nous n'imposons pas un rythme mais une durée fixe de la phrase pour chaque débit (sauf pour le débit normal où le locuteur a émis les phrases spontanément donc sans contrainte de durée). Les durées des phrases du corpus ont été fixées préalablement (environ : 0.5s pour le débit rapide, et 1.3s pour le débit lent). Notons que les durées fixées pour les autres débits sont différentes de celles obtenues pour le débit normal pour les six locuteurs. Le débit normal a donné des durées de phrases variant naturellement entre 0.8 et 1s pour nos locuteurs.

Pour respecter approximativement ces durées (donc pour créer la contrainte de vitesse d'élocution), et éviter des influences mutuelles, chaque locuteur a suivi seul une phase d'apprentissage, dans une chambre sourde, en lisant les phrases du corpus sur l'écran d'un ordinateur. Notons donc que chaque locuteur a été enregistré isolé des autres.

Les phrases ont été enregistrées dans la chambre sourde du laboratoire d'acoustique de la faculté d'électronique, sur un PC (P4), muni d'une carte son de type « sound Blaster », à l'aide d'un microphone professionnel.

2.4 Les unités de parole analysées

Il s'agit des unités /CjVil/, Vi étant l'une des trois voyelles de l'arabe (i=/a/, /i/, /u/), en contexte consonantique /Cj/: j=/a_/, /h/, /h_/, pour chaque locuteur, soit : /a_al/, /a_il/, /a_ul/, /hal/, /hil/, /hul/, /h_al/, /h_il/, /h_ul/, (« l » étant la consone liquide /l/).

Pour obtenir ces différentes unités, nous avons segmenté manuellement les phrases du corpus en nous basant sur le signal acoustique et sur le spectrogramme, à l'aide du logiciel Praat. L'analyse a été faite dans le domaine temporel et dans le domaine fréquentiel.

- Dans le domaine temporel nous avons analysé les durées relatives $d(\text{CjVil})/d(\text{phrase})$, ($d(\text{CjVil})$: durée moyenne de l'unité CjVil et $d(\text{phrase})$: durée moyenne de la phrase correspondante à l'unité CjVil).
- Dans le domaine fréquentiel, nous avons analysé les formants F1 et F2 de la voyelle Vi (prélevés au cœur de la voyelle, manuellement à l'aide du logiciel praat).

3. ANALYSE DES DUREES d(CjVil/)

Le but est d'analyser la stratégie temporelle adoptée par chaque locuteur en fonction du débit, afin de dégager les patrons temporels de chaque locuteur en contrainte de débit d'élocution.

3.1 Méthodologie

Nous avons d'abord calculé les moyennes des durées des phrases (dph), puis les durées moyennes des unités **CjVil** (**dCjVil**) et fait ensuite le rapport.

Analyse des durées relatives des (CjVil) dans la phrase

Nous avons calculé les valeurs moyennes des durées relatives $d(\text{CjVil})/d(\text{phrase})$, en fonction du débit et du contexte consonantique, pour chaque locuteur, afin de voir comment est distribué le temps dans la phrase de ces unités, en fonction du contexte consonantique. Les valeurs obtenues sont illustrées par les tableaux 1.

Les figures 1 obtenues à partir des tableaux 1 pour chaque contexte consonantique, illustrent la distribution du temps dans la phrase par fricative, en fonction du locuteur et du débit.

Afin de comparer les différentes moyennes des durées relatives précédentes, nous avons fait une analyse de la variance (ANOVA) des durées relatives des (CjVil) dans la phrase porteuse, par locuteur. L'ANOVA avait deux facteurs intra : contexte vocalique (/a/, /i/ /u/) et débit (normal, rapide et lent) pour une même fricative.

Nous avons considéré les données des trois contextes vocaliques aux trois différents débits. Avec dix répétitions par contexte vocalique, nous avons obtenu 270 stimuli par fricative.

Les hypothèses étaient les suivantes

- L'hypothèse nulle H0 : les moyennes des durées relatives du groupe ne sont pas significativement différentes.
- L'hypothèse H1 : les moyennes des durées relatives du groupe sont significativement différentes.

Les résultats obtenus pour l'ANOVA sont regroupés dans le tableau 2.

D'après ce dernier, le test statistique montre que :

- Pour les locuteurs CH et LI : la valeur de la probabilité p étant largement supérieure au seuil de signification 0.05, on conserve donc l'hypothèse nulle.
- Pour les locuteurs FE, SA, NA et MA : la valeur de p étant très en deçà du seuil de signification 0.05, on conserve donc l'hypothèse H1.

Ce qui nous permet de conclure qu'à une probabilité de risque d'erreur de 0.05, l'ANOVA montre un effet significatif du débit, pour une même fricative, pour les locuteurs FE, NA, MA et SA et un effet non significatif pour les locuteurs CH et LI.

Par ailleurs, d'après le test de Cheffé (qui permet de comparer chaque paire de moyennes entre elles) les moyennes des durées relatives intra débits et inter contextes vocaliques, ne sont pas significativement différentes pour les six locuteurs (globalement). Cependant, le débit a peu d'importance sur les durées relatives pour les locuteurs CH et LI. Ce qui n'est pas le cas pour les 4 autres locuteurs pour lesquels nous avons observé un changement des durées relatives en débit rapide.

La conclusion du test statistique correspond bien aux résultats obtenus en figures 1. Ces dernières ont l'avantage de donner un ordre de grandeur des moyennes par débit et par locuteur.

La figure 2 permet de mieux apprécier la variation des valeurs du paramètre F ($F = \text{variance inter-groupes}/\text{variance}$

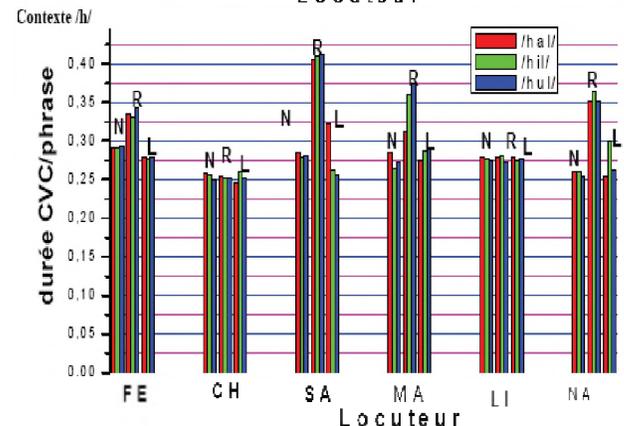
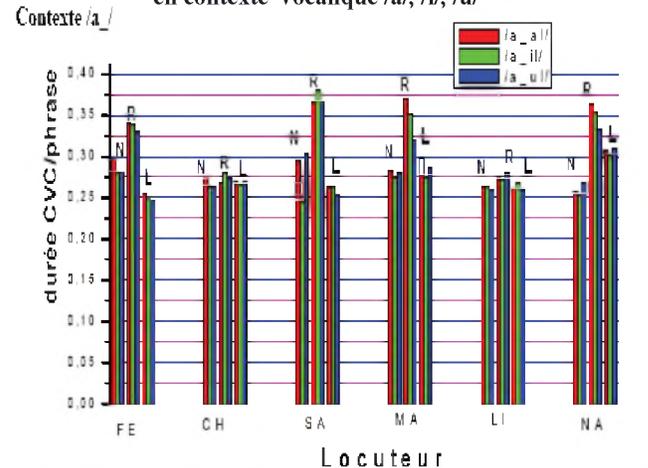
intra-groupes ou résidu) du test statistique en fonction du contexte consonantique pour chaque locuteur.

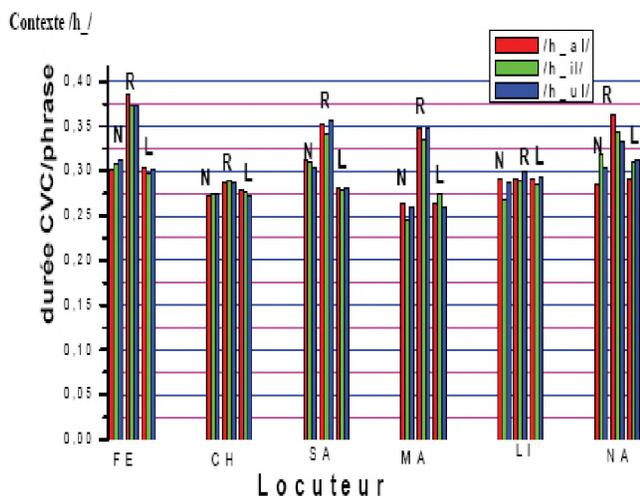
Contexte consonantique /a_/				
		Durées relatives d(CjVil)/d(phrase)		
locuteur	débit	d(a_al)/dph	d(a_il)/dph	d(a_ul)/dph
FE	N	0,29738	0,27969	0,2829
FE	R	0,34181	0,33866	0,33107
FE	L	0,25439	0,25021	0,24646
locuteur	débit	d(a_al)/dph	d(a_il)/dph	d(a_ul)/dph
CH	N	0,27278	0,26423	0,26434
CH	R	0,26856	0,27956	0,27322
CH	L	0,27047	0,26557	0,27008
locuteur	débit	d(a_al)/dph	d(a_il)/dph	d(a_ul)/dph
SA	N	0,2954	0,24426	0,30363
SA	R	0,36495	0,38015	0,36766
SA	L	0,26369	0,26247	0,25374
locuteur	débit	d(a_al)/dph	d(a_il)/dph	d(a_ul)/dph
MA	N	0,28132	0,27309	0,2795
MA	R	0,36962	0,35033	0,31978
MA	L	0,29857	0,27326	0,28682
locuteur	débit	d(a_al)/dph	d(a_il)/dph	d(a_ul)/dph
LI	N	0,26252	0,26281	0,25937
LI	R	0,27637	0,27243	0,28034
LI	L	0,26196	0,2685	0,25823
locuteur	débit	d(a_al)/dph	d(a_il)/dph	d(a_ul)/dph
NA	N	0,25738	0,2524	0,26816
NA	R	0,36343	0,35224	0,33244
NA	L	0,30756	0,30195	0,30933

Contexte consonantique /h_/				
		Durées relatives d(CjVil)/d(phrase)		
locuteur	débit	d(h_al)/dph	d(h_il)/dph	d(h_ul)/dph
FE	N	0,29081	0,29158	0,29453
FE	R	0,33578	0,33183	0,3439
FE	L	0,27862	0,2771	0,27966
locuteur	débit	d(h_al)/dph	d(h_il)/dph	d(h_ul)/dph
CH	N	0,25927	0,25627	0,24894
CH	R	0,25441	0,2514	0,25104
CH	L	0,24589	0,26053	0,25121
locuteur	débit	d(h_al)/dph	d(h_il)/dph	d(h_ul)/dph
SA	N	0,28606	0,2783	0,2806
SA	R	0,40538	0,41012	0,4119
SA	L	0,32256	0,26165	0,25551
locuteur	débit	d(h_al)/dph	d(h_il)/dph	d(h_ul)/dph
MA	N	0,28454	0,26435	0,27322
MA	R	0,3124	0,36091	0,37574
MA	L	0,27514	0,28711	0,2922
locuteur	débit	d(h_al)/dph	d(h_il)/dph	d(h_ul)/dph
LI	N	0,27815	0,27709	0,27411
LI	R	0,28	0,28095	0,27309
LI	L	0,27982	0,27427	0,27759
locuteur	débit	d(h_al)/dph	d(h_il)/dph	d(h_ul)/dph
NA	N	0,25992	0,26121	0,25479
NA	R	0,35088	0,36376	0,3522
NA	L	0,25315	0,30011	0,26254

Contexte consonantique /h_/				
		Durées relatives d(CjVil)/d(phrase)		
locuteur	débit	d(h_al)/dph	d(h_il)/dph	d(h_ul)/dph
FE	N	0,30202	0,30851	0,31314
FE	R	0,38508	0,37363	0,37277
FE	L	0,30275	0,29672	0,30118
locuteur	débit	d(h_al)/dph	d(h_il)/dph	d(h_ul)/dph
CH	N	0,27299	0,27495	0,27352
CH	R	0,2861	0,2897	0,28625
CH	L	0,27822	0,27727	0,27225
locuteur	débit	d(h_al)/dph	d(h_il)/dph	d(h_ul)/dph
SA	N	0,3117	0,30994	0,30343
SA	R	0,35182	0,34073	0,35638
SA	L	0,28067	0,27774	0,28091
locuteur	débit	d(h_al)/dph	d(h_il)/dph	d(h_ul)/dph
MA	N	0,26381	0,24412	0,25953
MA	R	0,34728	0,33445	0,3471
MA	L	0,26463	0,27334	0,26047
locuteur	débit	d(h_al)/dph	d(h_il)/dph	d(h_ul)/dph
LI	N	0,29122	0,26723	0,28736
LI	R	0,29178	0,29006	0,29943
LI	L	0,29105	0,28441	0,29362
locuteur	débit	d(h_al)/dph	d(h_il)/dph	d(h_ul)/dph
NA	N	0,28431	0,31775	0,30337
NA	R	0,36282	0,34405	0,33235
NA	L	0,2913	0,3095	0,3129

Tableaux 1. Variation des durées relatives des dCjVil/dphrase, en fonction du contexte consonantique, du locuteur et du débit, en contexte vocalique /a/, /i/, /u/





Figures 1. Variation des durées relatives des dCjVil/dphrase, en fonction du contexte consonantique, du locuteur et du débit, en contexte vocalique /a/, /i/, /u/

D'après le tableau 2 et la figure 2, les résultats des F et des p du test statistique, obtenus pour chaque locuteur, FE et MA présentent les différences les plus significatives (en particulier en contexte consonantique /a_/ et /h/), suivi des locuteurs NA et MA. Ce qui nous laisse penser que :

- les locuteurs CH et LI allouent approximativement, le même temps dans la phrase pour les unités /CjVil/, quel que soit le débit et quel que soit le contexte consonantique.
- les locuteurs FE, MA, NA et SA augmentent considérablement le temps alloué aux unités /CjVil/ dans la phrase, en débit rapide et gardent approximativement le même temps pour les deux autres débits. On pourrait en conclure que FE, MA, NA et SA ont approximativement la même stratégie de distribution du temps dans la phrase que CH et LI.

Discussions

D'après ces résultats :

- **En débits normal et lent :**

Nous pouvons dire que les locuteurs adoptent approximativement tous la même stratégie sur le plan temporel, puisqu'ils ont globalement la même durée relative pour les unités /CjVil/.

- **En débit rapide :**

- CH et LI adoptent la même stratégie temporelle qu'en débits normal et lent, puisque leurs durées relatives demeurent inchangées et du même ordre de grandeur.

- FE et SA, NA et MA augmentent leurs durées relatives par rapport aux débits normal et lent (Les F du test statistique sont plus significatifs pour les locuteurs FE et NA que pour SA et MA) pour reproduire leurs contrastes phonémiques des unités considérées. Ils allouent donc plus de temps dans la phrase pour pouvoir reproduire les mêmes unités produites en débit normal. Cela veut dire qu'il leur sera difficile de reproduire les unités considérées si le temps qui leur est alloué est relativement court par rapport au débit

normal. Donc au plan temporel, CH et LI ont plus de facilité à reproduire les unités considérées même en contrainte temporelle. Ce qui n'est pas le cas des locuteurs SA, NA, MA et FE (FE et MA plus que SA et NA : d'après la figure 2)

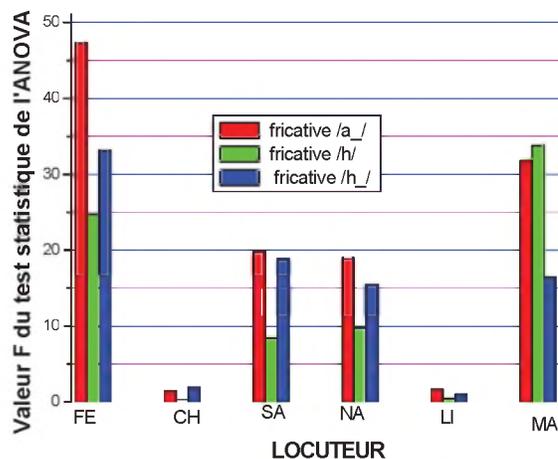


Figure 2. Valeurs des F du test statistique en fonction du contexte consonantique pour chaque locuteur

D'après Perkell *et al.* (2000) [5], les mécanismes pour la production des contrastes phonémiques sont basés sur des buts auditifs. Ainsi, la production de la parole est programmée dans le système nerveux central pour atteindre des séquences de buts acoustiques. Comme ces buts acoustiques sont en général construits dès la plus tendre enfance par le biais de la langue maternelle, le locuteur produira ses cibles acoustiques en fonction de modèles de patrons acoustiques pré enregistrés dans son cerveau, à l'âge adulte. C'est pour cela que nous obtenons des durées relatives propres à chaque locuteur. C'est ce qui leur permet d'atteindre leurs cibles acoustiques.

Voyons alors ce qu'il en est dans le domaine fréquentiel.

4. ANALYSES FREQUENTIELLES DES VOYELLES ARABES Vi (i=/a/, /i/, /u/) DES UNITES /CjVil/, EN CONTRAINTE DE DEBIT

Perkell *et al.* (2000) [5] ajoutent, dans leur théorie de production de la parole sur la base de buts auditifs, que la dimension articulatoire est régie inconsciemment par le locuteur : le degré d'articulation d'un locuteur, dans une condition de parole donnée, varie entre son désir d'obtenir les meilleurs contrastes acoustiques possibles, autrement dit les meilleurs contrastes articulatoires, et sa volonté de minimiser ses patrons articulatoires dans une perspective d'économie d'efforts (figure 3, Perkell 2000 [5]). C'est sur cet axe que le débit joue un rôle très important.

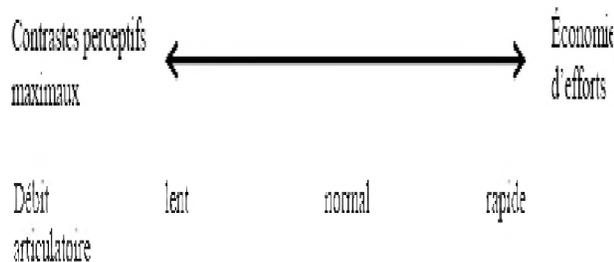


Figure 3. Axe de production de la parole selon la contrainte de débit (Perkell 2000)

Par exemple, si on demande à un locuteur adulte ayant un contrôle moteur fin :

- de parler lentement : le locuteur augmentera l'amplitude de ses contrastes acoustiques, (donc la distance entre les voyelles sera plus grande) ce qui résultera par ailleurs en un effort plus marqué au plan articulaire.
- de parler rapidement : le locuteur diminuera son activité articulaire, ce qui aura pour effet de minimiser ses efforts et se traduira par une baisse des contrastes acoustiques (diminution des distances entre des paires de voyelles dans l'espace acoustique F1, F2).

Cela veut dire qu'en situation de contrainte, l'espace vocalique varie par rapport à celui occupé en débit normal. Toutefois, en débit rapide, la baisse de ces contrastes acoustiques ne signifie pas que le locuteur devient inintelligible. Il serait donc intéressant pour nous de savoir si nos locuteurs, malgré le fait qu'ils n'aient pas la même stratégie, ont des espaces vocaliques qui varient avec le débit. Cette variation de l'espace vocalique est-elle le signe d'un contrôle moteur précis? Comment en être sûr ?

A ce sujet Gay (1978) [1] prévoit deux stratégies de contrôle moteur en production de la parole :

- La stratégie d'amplitude (*amplitude strategy*)
- ou la stratégie de vitesse (*velocity strategy*).

Dans le premier cas, un locuteur A garde à peu près le même débit articulaire qu'en condition de parole normale, mais il réduit l'amplitude de ses mouvements. Il centralise davantage ses mouvements articulaires.

- Pour cette stratégie, nous retrouvons beaucoup plus de coarticulation. La coarticulation se produit lorsqu'une voyelle ou une consonne voit ses caractéristiques changer à cause de son environnement phonétique. La configuration des articulateurs pour une voyelle donnée peut alors être influencée par les phonèmes précédents ou suivants. Par exemple, un locuteur utilisant cette stratégie pour prononcer une séquence [tut] réaliserait un /u/ plus centralisé, car cette voyelle est entourée de consonnes produites au niveau alvéolaire.
- Pour la seconde stratégie, un locuteur B garde la même amplitude de mouvement et maximise ses patrons articulaires. Il compense en accélérant le mouvement de ses articulateurs. Pour cette stratégie, les cibles acoustiques atteintes sont sensiblement les mêmes que celles en condition normale. Il y a moins de

centralisation. Cette deuxième stratégie pourrait témoigner d'un contrôle moteur moindre, moins fin. En effet, pour un but acoustique semblable, produit en condition identique, le locuteur fournit plus d'efforts.

En se basant sur cette théorie :

- Nous pouvons classer CH et LI dans le premier cas (la stratégie d'amplitude (*amplitude strategy*)) car ils gardent leurs durées relatives constantes, comme en débit normal. Il reste à vérifier s'ils réduisent l'amplitude de leurs mouvements, c'est-à-dire s'ils réduisent leurs espaces vocaliques en augmentant le débit, et s'ils centralisent.
- Nous classerons par contre les 4 autres locuteurs SA, MA, NA et FE dans le 2ème cas (stratégie de vitesse (*velocity strategy*)), car en effet, en débit rapide, les durées relatives sont plus élevées, donc différentes des durées en débit normal. Cela voudrait dire que ces locuteurs maximisent leurs patrons articulaires. Il reste à vérifier si l'espace acoustique est semblable en débits normal et rapide. Pour vérifier cela, nous commencerons par une analyse de la variation de l'espace vocalique.

4.1.Méthodologie

Pour calculer l'espace vocalique occupé par les voyelles Vi, nous avons calculé les surfaces des triangles vocaliques des voyelles arabes /a/, /i/ et /u/, pour chaque débit et chaque fricative, dans le plan F1, F2. Les sommets des triangles vocaliques sont les centres des ellipses de dispersion de chaque voyelle (/a/, /i/, /u/).

Le *triangle vocalique* est le nom donné à la figure géométrique que forment les voyelles /a/, /i/ et /u/ [15] lorsqu'elles sont placées dans un espace bidimensionnel appelé *espace cardinal*, dont les axes sont les fréquences du 1^{er} formant (F1) et du 2^{eme} formant (F2). C'est ce qu'on appellera l'espace vocalique.

Le *triangle vocalique* est le nom donné à la figure géométrique que forment les voyelles /a/, /i/ et /u/ [15] lorsqu'elles sont placées dans un espace bidimensionnel appelé *espace cardinal*, dont les axes sont les fréquences du 1^{er} formant (F1) et du 2^{eme} formant (F2). C'est ce qu'on appellera l'espace vocalique.

Tracé des ellipses de dispersion

Nous avons dans un premier temps tracé les ellipses de dispersion dans le plan F1, F2 pour les voyelles /a/, /i/, /u/, prélevées dans les unités de parole considérées (/a_al/, /a_il/, /a_ul/ ; /ha/, /hi/, /hu/ ; /h_al/, /h_il/, /h_ul/), selon le contexte consonantique /a_/, /h/, /h_/, pour les trois débits d'élocution, pour chaque locuteur.

Les résultats obtenus sont illustrés par les figures 4. Pour chaque voyelle, nous avons trois ellipses correspondant aux trois débits : en bleu : débit normal ; en rouge : débit lent et en noir : débit rapide.

Locuteur	F	p	ANOVA des moyennes des durées relatives pour les trois débits, pour les 6 locuteurs à 0.05	Test de scheffé
Fricative /a /				
FE	47,326	0	significativement différentes	Pas significativement différentes intra débit mais significativement différente inter débit
CH	1,437	0,193	pas significativement différentes	Pas significativement différentes intra débit et inter débit
SA	19,870	3,33067E-16	significativement différentes	Pas significativement différentes intra débit mais significativement différente inter débit
NA	19,018	8,88178E-16	significativement différentes	Pas significativement différentes intra débit mais significativement différente inter débit
LI	1,645	0,1248	pas significativement différentes	Pas significativement différentes intra débit et inter débit
MA	31,794	0	significativement différentes	Pas significativement différentes intra débit mais significativement différente inter débit
Fricative /h/				
FE	24,755	0	significativement différentes	Pas significativement différentes intra débit mais significativement différente inter débit
CH	0,2975	0,9649	pas significativement différentes	Pas significativement différentes intra débit et inter débit
SA	8,355	6846E-8	significativement différentes	Pas significativement différentes intra débit mais significativement différente inter débit
NA	9,70237	2,44338E-9	significativement différentes	Pas significativement différentes intra débit mais significativement différente inter débit
LI	0,4079	0,9129	pas significativement différentes	Pas significativement différentes intra débit et inter débit
MA	33,817	0	significativement différentes	Pas significativement différentes intra débit mais significativement différente inter débit
Fricative /h /				
FE	33,134	0	significativement différentes	Pas significativement différentes intra débit mais significativement différente inter débit
CH	1,9593	0,0622	pas significativement différentes	Pas significativement différentes intra débit et inter débit
SA	18,86	1,11022E-15	significativement différentes	Pas significativement différentes intra débit mais significativement différente inter débit
NA	15,470	1,4444E-13	significativement différentes	Pas significativement différentes intra débit mais significativement différente inter débit
LI	0,980	0,4576	pas significativement différentes	Pas significativement différentes intra débit et inter débit
MA	16,485	3,20854E-14	significativement différentes	Pas significativement différentes intra débit mais significativement différente inter débit

Tableau 2. Analyse de la variance (ANOVA) des durées relatives des CjVil dans la phrase porteuse, par locuteur.

- En regardant les ellipses de dispersion de FE et MA, nous remarquons en effet qu'elles sont presque toutes superposées pour la même voyelle, et cela quel que soit le débit et le contexte consonantique, donc leurs espaces vocaliques varient très peu avec le débit. Ce qui rejoint la théorie de Gay (la stratégie de vitesse)
- Les ellipses de dispersion de CH et LI sont par contre presque toutes disjointes et se dirigent vers le centre de l'espace F1, F2. Cela veut dire que l'espace vocalique change avec le débit. Ce qui vérifie la théorie de Gay prise en hypothèse (la stratégie d'amplitude).
- Les ellipses de dispersion de SA et NA par contre se trouvent entre les deux locuteurs. Certaines sont disjointes et d'autres non. Donc pour le moment nous ne pouvons pas leur attribuer une stratégie.

Pour arriver à des résultats plus quantitatifs donc plus concrets, il serait intéressant de comparer les surfaces des triangles vocaliques en fonction du débit afin de voir s'il y a réduction de l'espace vocalique avec l'augmentation du débit.

Tracé des triangles vocaliques

A partir des ellipses de dispersion précédentes, nous avons tracé, pour chaque contexte consonantique et pour chaque débit, les droites joignant les centres des ellipses de dispersion (correspondantes aux moyennes des formants F1 et F2). Nous avons obtenu ainsi trois triangles vocaliques correspondant à chaque débit d'élocution. Les résultats obtenus sont illustrés par les figures 5.

Calcul de la surface des triangles vocaliques

La méthode utilisée est inspirée de l'article de Hirsch [14], où l'aire des triangles vocalique est calculée de la façon suivante :

$$\text{Aire} = \sqrt{P(P-a)(P-b)(P-c)} \text{ en kHz}^2$$

Où a, b et c représentent la distance entre les coordonnées de deux voyelles qui est quantifiée par :

$$\sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2} \quad (1)$$

(x correspond à F1 d'une des trois voyelles et y à F2) et où P est le résultat de :

$$(a + b + c) / 2 \quad (2)$$

Le côté d'un triangle est calculé par (figure 6) :

$$\text{Le côté « a » du triangle} \\ a = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2} \quad (3)$$

$$\text{Le côté « b » du triangle:} \\ b = \sqrt{(x_c - x_b)^2 + (y_c - y_b)^2} \quad (4)$$

$$\text{Le côté « c » du triangle.} \\ c = \sqrt{(x_a - x_c)^2 + (y_a - y_c)^2} \quad (5)$$

On notera ici que les sommets du triangle (figure 6) correspondent aux centres des ellipses de dispersion des voyelles /a/, /i/, /u/.

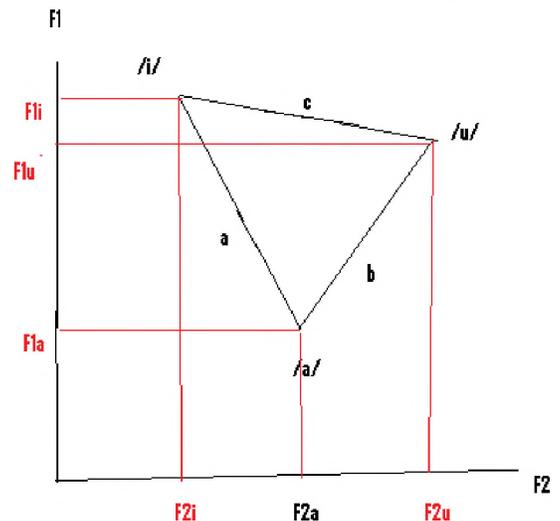


Figure 6. Représentation du triangle vocalique pour le calcul de sa surface

Dans notre cas :

Le côté « a » est égal à la distance entre le centre de l'ellipse de la voyelle /a/ et celui de la voyelle /i/.

Le côté « b » est égal à la distance entre le centre de l'ellipse de la voyelle /a/ et celui de la voyelle /u/.

Le côté « c » est égal à la distance entre le centre de l'ellipse de la voyelle /i/ et celui de la voyelle /u/.

Les coordonnées des trois voyelles seront alors dans le plan (F2, F1) :

$$\text{Voyelle /a/ : } x_a = F2a \quad y_a = F1a$$

$$\text{Voyelle /i/ : } x_i = F2i \quad y_i = F1i$$

$$\text{Voyelle /u/ : } x_u = F2u \quad y_u = F1u$$

$$a = \sqrt{(x_i - x_a)^2 + (y_i - y_a)^2} = \\ a = \sqrt{(F2i - F2a)^2 + (F1i - F1a)^2} \quad (6)$$

$$b = \sqrt{(x_u - x_a)^2 + (y_u - y_a)^2} = \\ b = \sqrt{(F2u - F2a)^2 + (F1u - F1a)^2} \quad (7)$$

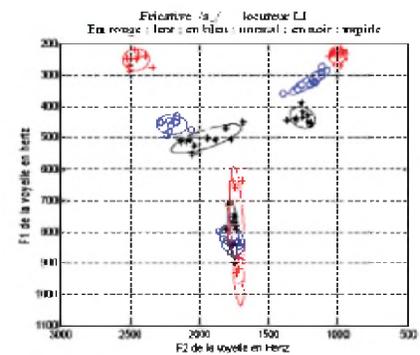
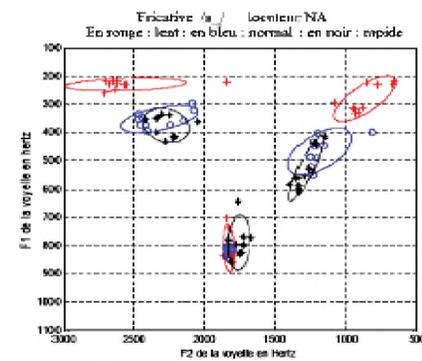
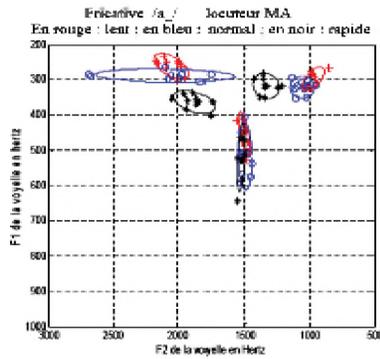
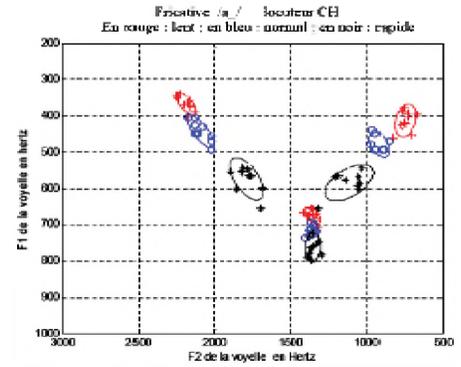
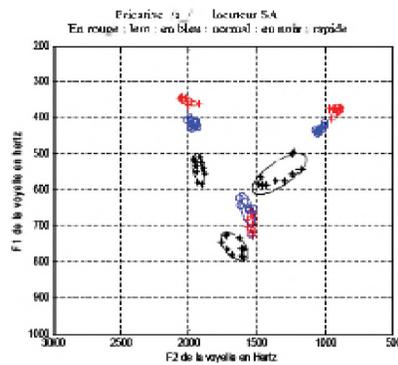
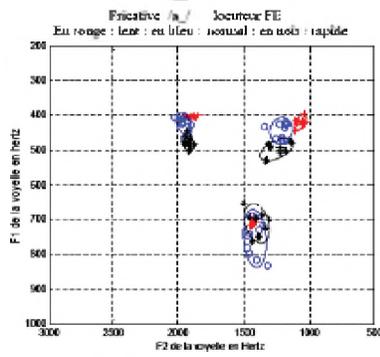
$$c = \sqrt{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2} = \\ \sqrt{(F2u - F2i)^2 + (F1u - F1i)^2} \quad (8)$$

$$p = (a + b + c) / 2 \quad (9)$$

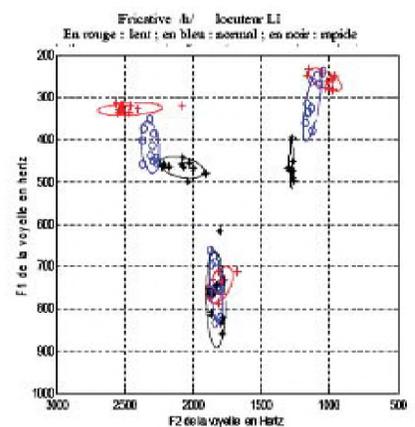
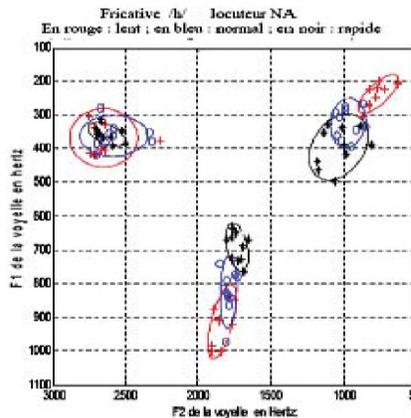
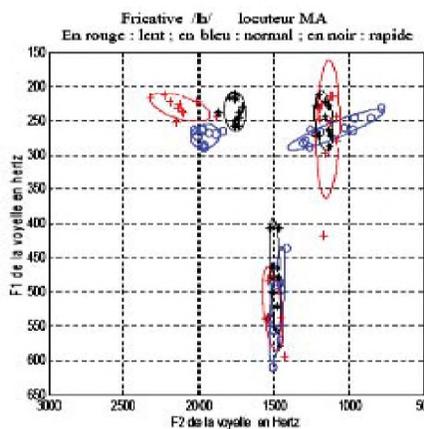
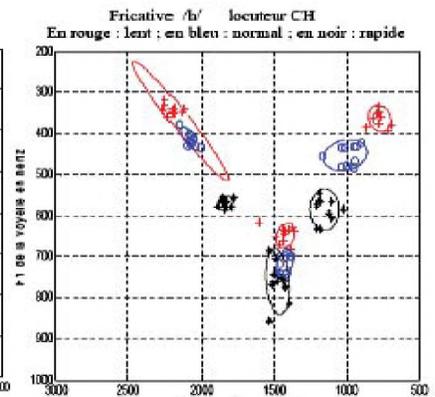
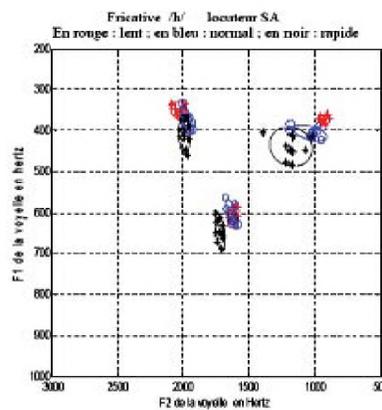
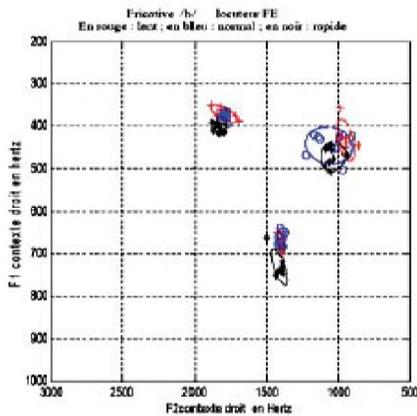
Résultats des surfaces des triangles vocaliques

Les valeurs des surfaces des triangles vocaliques sont données dans les tableaux 3, où nous retrouvons les valeurs des deux premiers formants par voyelle, les aires en kHz² pour chaque locuteur.

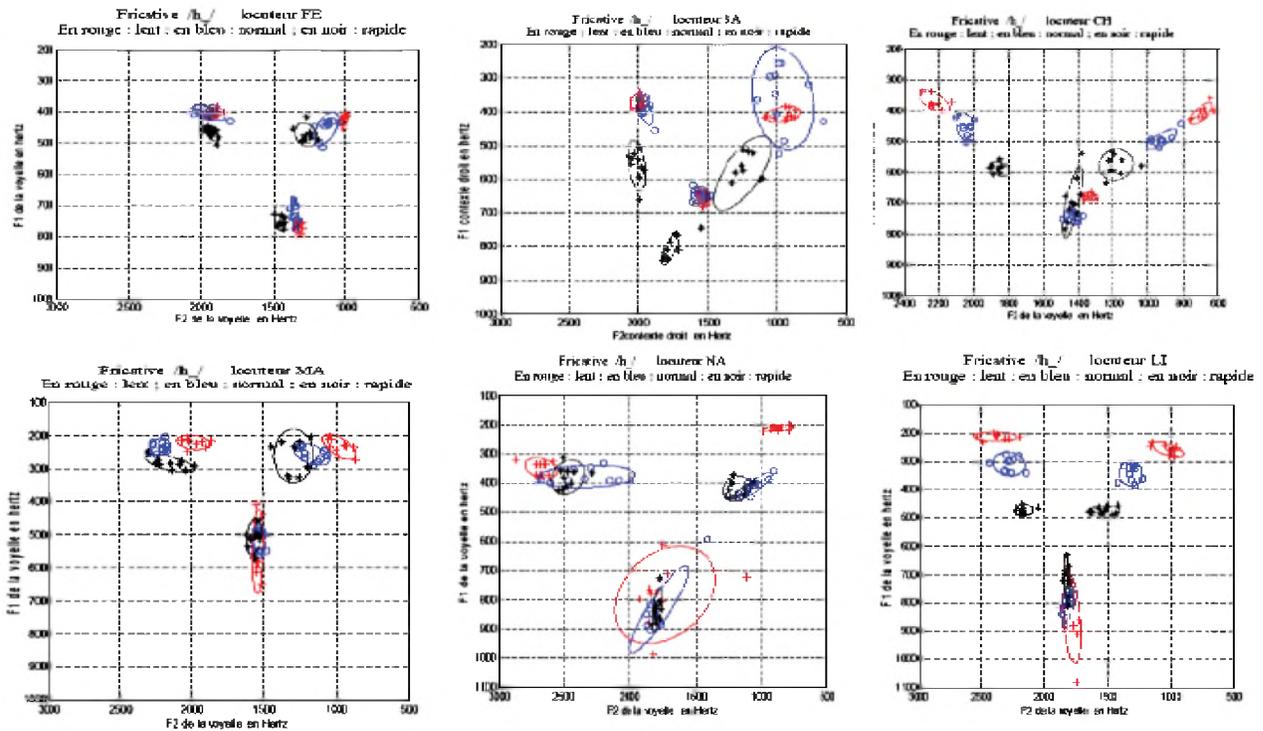
Pour la fricative /a/



Pour la fricative /h/

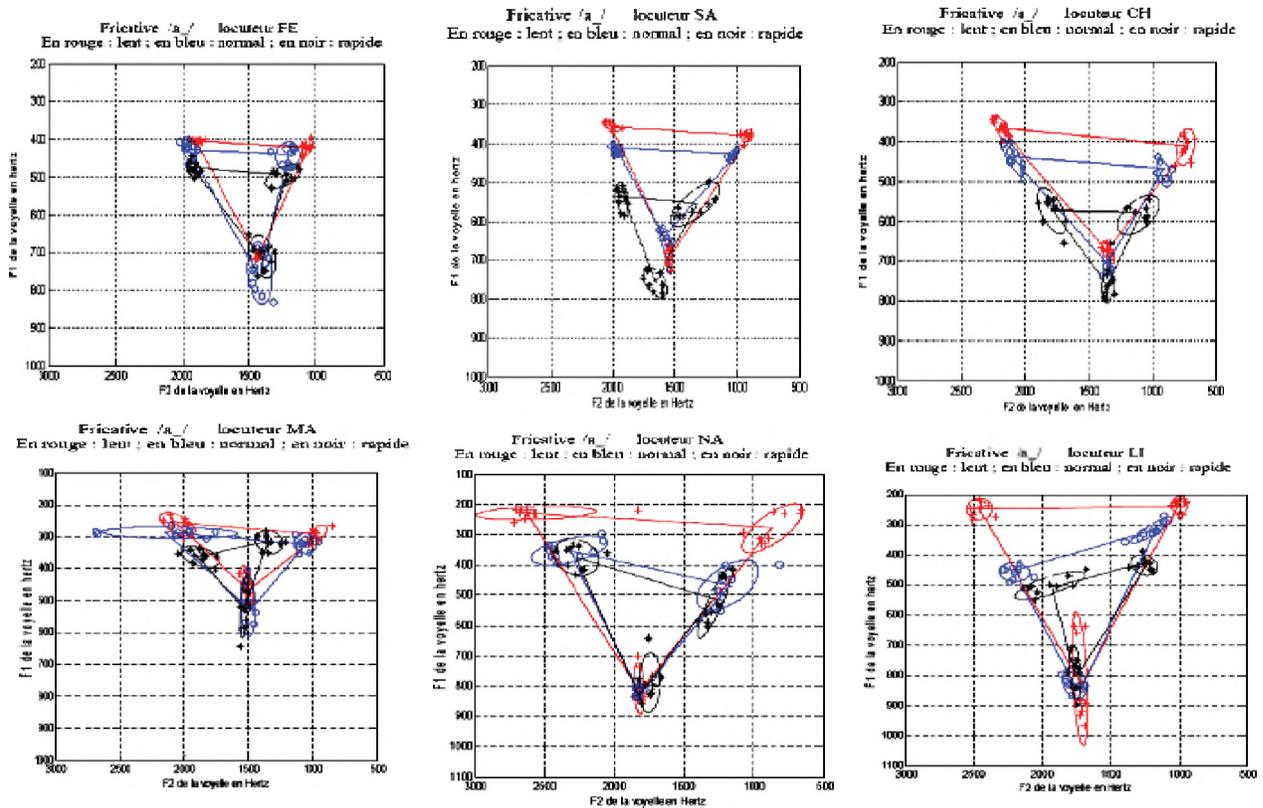


Pour la fricative /h_/

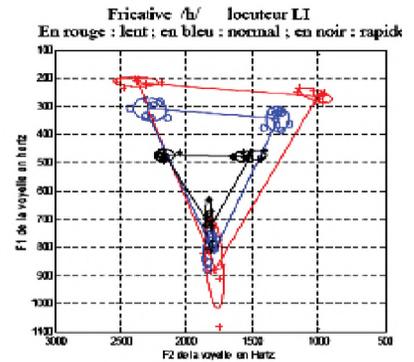
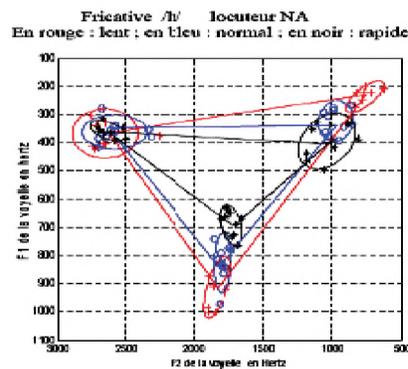
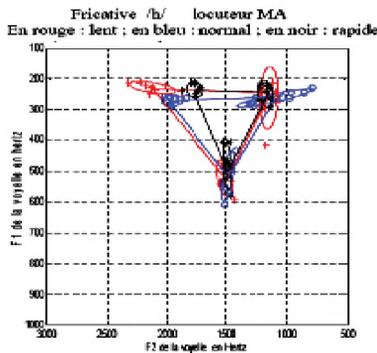
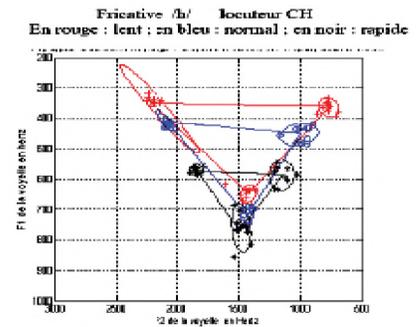
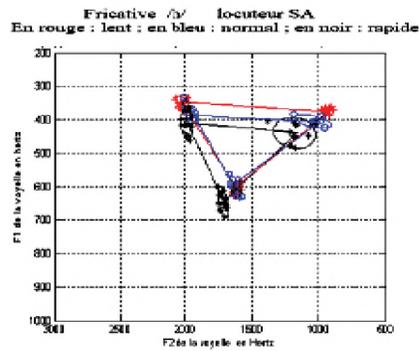
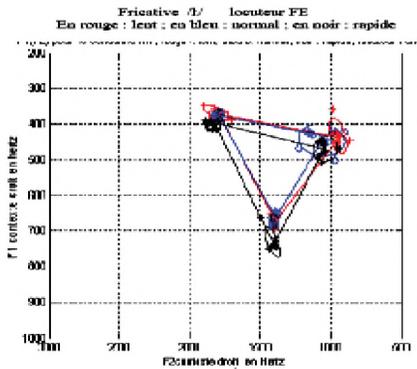


Figures 4. Ellipses de dispersion relatives à chaque locuteur, chaque contexte consonantique et chaque débit.
 En bleu : débit normal ; en rouge : débit lent et en noir : débit rapide

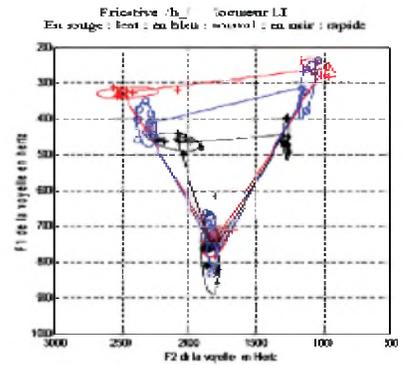
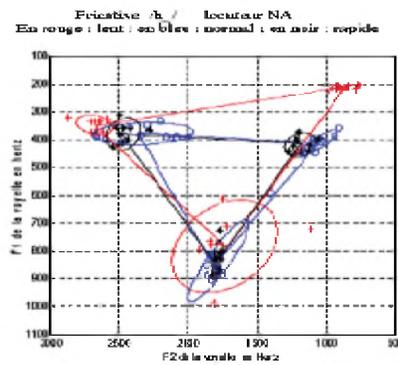
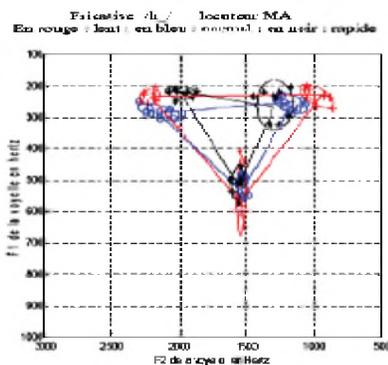
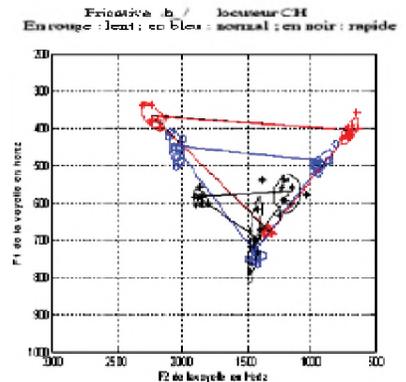
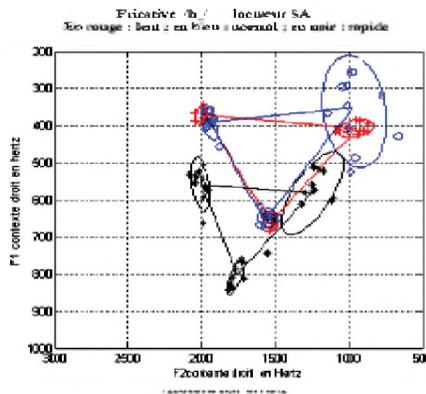
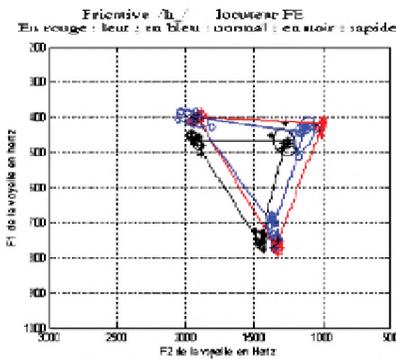
Pour la fricative /a_/



Pour la fricative /h/



Pour la fricative /h/



Figures 5. Triangles vocaux tracés à partir des ellipses de dispersion, en fonction du débit, pour chaque locuteur et chaque contexte consonantique. En bleu : débit normal ; en rouge : débit lent et en noir : débit rapide

Les figures 7 ont été tracées à partir des tableaux 3. Elles montrent globalement une réduction de l'espace vocalique avec l'augmentation du débit d'élocution pour les six locuteurs. Notons cependant que les locutrices NA et LI présentent les surfaces vocaliques les plus élevées. Le débit semble avoir un effet significatif sur l'espace vocalique pour les trois locuteurs. Que pouvons-nous alors en conclure ?

Lane et al. [5] et bien d'autres auteurs ont remarqué que la taille des espaces vocaliques était réduite en cas de perturbation de la parole. Cependant, une étude concernant l'influence du débit sur le triangle vocalique en parole neutre [7], montre que les formants tendent vers une voyelle centrale pour les segments de courte durée. Une différence majeure existe entre le cas neutre et les autres expressivités: le degré d'articulation n'est plus uniquement dépendant de la variable débit.

Dans le cas neutre, une accélération et une décélération correspondent respectivement à une réduction et à une expansion du triangle vocalique [7]. Il semble que cette tendance naturelle ne soit pas préservée dans le cas de certaines expressivités. Voir figure 8.

D'après Gendrot et al. [7], en cas de parole neutre, comme dans le cas de variation de débit, la réduction de l'espace vocalique est réalisée suivant une centralisation des voyelles.

Nos résultats montrent en effet une réduction de l'espace vocalique avec l'augmentation du débit, globalement pour les 6 locuteurs. Cependant il serait bon de savoir si cette réduction de l'espace vocalique est aussi l'effet d'une centralisation des voyelles, comme dans le cas d'une parole neutre.

Nous allons donc voir si les six locuteurs se comportent comme dans le cas de parole neutre, autrement dit, nous cherchons à savoir si leurs voyelles sont centralisées ou non. La figure suivante 9 montre un exemple de centralisation des voyelles /a/ et /i/ dans l'espace vocalique [13]. En guise de constatation, nous remarquons que la valeur de F1 augmente avec le degré d'aperture (le degré d'ouverture de la cavité labiale ou la hauteur interlabiale) et celle de F2 avec le degré d'antériorité (lieu d'articulation dans la cavité orale).

Articulatoirement, une centralisation du /i/, voudrait dire que le /i/ deviendrait moins antérieur et plus ouvert alors que le /a/ serait un peu moins postérieur et un peu moins ouvert.

Ces changements influenceraient les valeurs formantiques, et une centralisation des voyelles impliquerait :

- Une augmentation de F1 et une diminution de F2 pour la voyelle /i/;
- Une augmentation de F2 et une diminution du F1 pour la voyelle /a/.
- Une augmentation du F1 et du F2 pour la voyelle /u/.

Nous allons donc à présent étudier les variations des valeurs moyennes des formants F1 et F2 pour chaque locuteur en fonction du débit, afin de voir s'il y a centralisation des voyelles /a/, /i/, /u/.

5. CALCUL DES VARIATIONS DES FORMANTS F1 ET F2 EN FONCTION DU DEBIT D'ELOCUTION

Les tableaux 4 illustrent les valeurs moyennes des formants F1 et F2 de chaque voyelle V_i ($i=/a/, /i/, /u/$), en contexte consonantique /Cj/ : $j= /a_/, /h/, /h_/$ et ce pour chaque locuteur, dans le /CjVil/ soit : /a_al/, /a_il/, /a_ul/, /hal/, /hil/, /hul/, /h_al/, /h_il/, /h_ul/.

Les abréviations suivantes ont été adoptées :

- F1N : valeur moyenne du formant F1 en débit normal
- F2N : valeur moyenne du formant F2 en débit normal
- F1L : valeur moyenne du formant F1 en débit lent
- F2L : valeur moyenne du formant F2 en débit lent
- F1R : valeur moyenne du formant F1 en débit rapide
- F2R : valeur moyenne du formant F2 en débit rapide

Sur les tableaux 4, les flèches indiquent le sens de déplacement de points M(F2, F1) relatifs à chaque voyelle, lors de la variation des formants, dans l'espace vocalique (F2, F1), lorsque nous passons du débit lent vers le débit normal (LN) ou du débit normal vers le débit rapide (NR). A titre d'exemple, en cas de centralisation, le déplacement des points M(F2, F1) en situation (LN) doit être dans le même sens que celui du cas (NR) (en tenant compte de la figure 9).

Le tableau 5, récapitulatif des tableaux 4, regroupant le nombre de cas de centralisation par locuteur, par voyelle et le nombre total de cas de centralisation, montre que:

- pour la voyelle /a/ : aucun locuteur ne centralise.
 - Pour les voyelles /i/ et /u/:
- Les locuteurs libanais CH et LI centralisent quel que soit le contexte consonantique (6 cas sur 6 : 3 cas sur 3 pour la voyelle /i/, c'est-à-dire pour tous les contextes consonantiques et idem pour la voyelle /u/).
 - Les locuteurs Kabyles SA et NA centralisent moins que CH et LI (3 cas sur 6, c'est-à-dire la moitié par rapport aux locuteurs libanais CH et LI).
 - Les locuteurs algérois MA et FE (2 cas sur 6 pour MA et 1 cas sur 6 pour FE) sont ceux qui centralisent le moins.

6. CONCLUSION

Dans cette étude nous avons analysé les patrons temporels et fréquentiels de six locuteurs ayant des parlés qui vont en s'éloignant de la langue seconde du corpus de phrases qu'ils ont produites, en contrainte de débit.

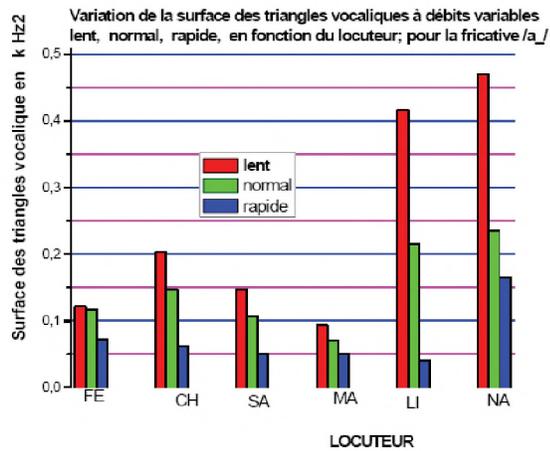
DEBIT NORMAL							
Formants	F1a En khz	F2a En khz	F1i En khz	F2i En khz	F1u khz	F2u En khz	Aire en kHz2
Locuteur	Consonne /a_/						
FE	0.754	1.420	0.424	1.956	0.444	1.216	0.1165
CH	0.715	1.354	0.443	2.096	0.480	0.915	0.1469
SA	0.652	1.571	0.415	1.971	0.432	1.040	0.1070
MA	0.516	1.5	0.3626	1.8831	0.3215	1.057	0.0712
LI	0.8261	1.7637	0.4587	2.2041	0.3188	1.1968	0.2157
NA	0.817	1.825	0.352	2.320	0.4668	1.1854	0.2354
	Consonne /h/						
FE	0.666	1.396	0.375	1.792	0.445	1.063	0.09232
CH	0.717	1.425	0.413	2.082	0.452	0.989	0.15291
SA	0.603	1.624	0.373	1.969	0.405	1.039	0.10156
MA	0.5174	1.4825	0.2723	1.9578	0.2628	1.0928	0.1083
LI	0.7451	1.8336	0.4170	2.3193	0.3203	1.1224	0.2338
NA	0.8251	1.7946	0.3620	2.5874	0.324	0.975	0.3884
	Consonne /h_/						
FE	0.720	1.355	0.403	1.949	0.450	1.135	0.11512
CH	0.743	1.436	0.453	2.043	0.491	0.922	0.15064
SA	0.647	1.557	0.391	1.948	0.3619	0.9600	0.13251
MA	0.5193	1.5293	0.2343	2.2166	0.2562	1.1717	0.14140
LI	0.8060	1.8193	0.3103	2.2797	0.3439	1.3098	0.23270
NA	0.8333	1.7769	0.3775	2.3264	0.4124	1.0592	0.27920

DEBIT LENT							
Formants	F1a En khz	F2a En khz	F1i En khz	F2i En khz	F1u khz	F2u En khz	Aire en kHz2
Locuteur	Consonne /a_/						
FE	0.707	1.433	0.400	1.889	0.420	1.066	0.12160
CH	0.674	1.353	0.365	2.193	0.413	0.748	0.20300
SA	0.619	1.537	0.353	2.010	0.379	0.923	0.14680
MA	0.452	1.5	0.2618	2.0531	0.297	0.972	0.09310
LI	0.8129	1.7271	0.2497	2.4596	0.237	0.997	0.41650
NA	0.808	1.823	0.229	2.558	0.280	0.867	0.47080
	Consonne /h/						
FE	0.671	1.397	0.369	1.801	0.433	0.945	0.11620
CH	0.647	1.430	0.369	2.143	0.364	0.770	0.19260
SA	0.606	1.610	0.350	2.031	0.372	0.927	0.13180
MA	0.5245	1.5140	0.2298	2.1232	0.262	1.1458	0.13420
LI	0.7427	1.8021	0.3276	2.4615	0.258	1.0243	0.32100
NA	0.9120	1.8345	0.3686	2.6561	0.237	0.764	0.56810
	Consonne /h_/						
FE	0.765	1.328	0.403	1.915	0.421	1.005	0.1592
CH	0.676	1.335	0.368	2.225	0.407	0.699	0.21791
SA	0.655	1.528	0.371	2.003	0.407	0.957	0.14016
MA	0.550	0.1539	0.2211	1.9871	0.233	0.976	0.15540
LI	0.8546	1.7855	0.2128	2.3869	0.258	1.0243	0.42350
NA	0.7837	1.7379	0.3478	2.6767	0.212	0.866	0.45840

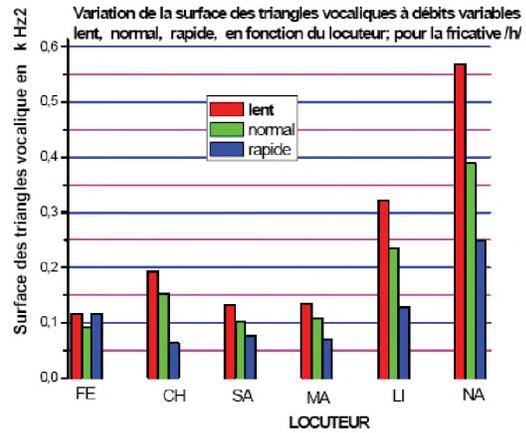
DEBIT RAPIDE							
Formants	F1a	F2a	F1i	F2i	F1u	F2u	Aire en Hz2
Locuteur	Consonne /a_/						
FE	0.710	1.402	0.476	1.919	0.498	1.250	0.07258
CH	0.763	1.350	0.573	1.791	0.584	1.110	0.06229
SA	0.736	1.600	0.540	1.839	0.554	1.304	0.05091
MA	0.5195	1.529	0.3626	1.883	0.317	1.338	0.05080
LI	0.7923	1.7599	0.237	0.996	0.4346	1.2531	0.04100
NA	0.7887	1.751	0.374	2.271	0.5257	1.2802	0.16600
	Consonne /h/						
FE	0.731	1.410	0.404	1.835	0.470	1.035	0.11666
CH	0.761	1.476	0.569	1.840	0.586	1.149	0.06329
SA	0.645	1.718	0.408	1.984	0.439	1.177	0.07842
MA	0.4764	1.4944	0.2361	1.7650	0.2495	1.1696	0.06970
LI	0.7778	1.8358	0.4651	2.0850	0.4592	1.2720	0.12780
NA	0.6920	1.7319	0.3578	2.6354	0.3950	1.0403	0.24970
	Consonne /h_/						
FE	0.751	1.452	0.466	1.928	0.471	1.276	0.09178
CH	0.689	1.432	0.585	1.861	0.575	1.186	0.03740
SA	0.808	1.772	0.558	2.009	0.581	1.251	0.07899
MA	0.5049	1.5657	0.2833	2.1446	0.2608	1.2935	0.10080
LI	0.7151	1.8214	0.4744	2.1639	0.4751	1.5275	0.07650
NA	0.8341	1.7888	0.3789	2.4681	0.4183	1.1874	0.27810

Tableaux 3. Formants et surfaces des triangles vocaliques en fonction du contexte consonantique, du locuteur et du débit

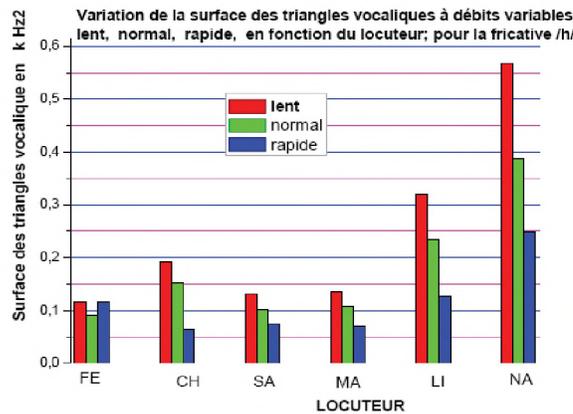
Pour la fricative /a_ /



Pour la fricative /h /



Pour la fricative /h_ /



Figures 7. Surface des triangles vocaliques en fonction du contexte consonantique, du locuteur et du débit

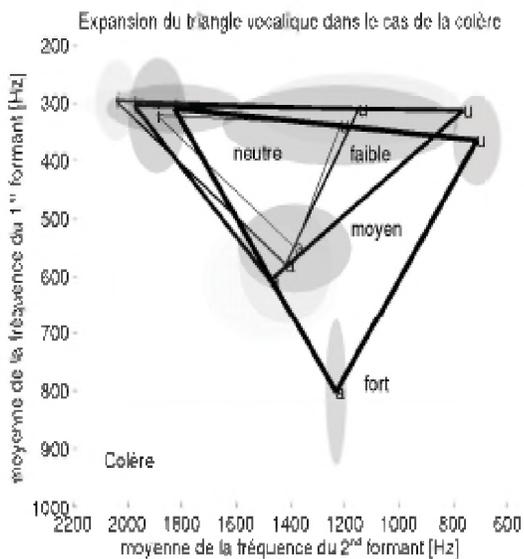


Figure 8. Triangle vocalique neutre et selon trois niveaux d'intensité de la colère extravertie

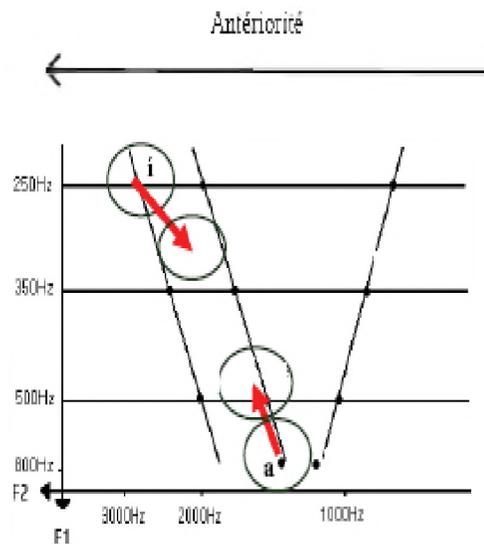


Figure 9. Exemple de centralisation des patrons articulatoire-acoustiques lors de la production des voyelles à l'étude

Voyelle /a/	F1L	F2L	F1N	F2N	F1R	F2R	F1N-F1R	F2N-F2R	sens	F1L-F1N	F2L-F2N	sens	centralise
Locuteurs													
En contexte consonantique /a_/_/													
FE	0.707	1.433	0.754	1.420	0.710	1.402	0.0440	0.0180	↗	-0.0470	0.0130	↘	non
CH	0.674	1.353	0.715	1.354	0.763	1.350	-0.0480	0.0040	↘	-0.0410	-0.0010	↘	non
SA	0.691	1.537	0.652	1.571	0.736	1.600	-0.0840	-0.0290	↘	0.0300	-0.0340	↘	non
MA	0.452	1.5	0.516	1.5	0.5195	1.529	-0.0015	-0.0290	↘	-0.0640	0	↘	non
LI	0.812	1.727	0.8261	1.765	0.7923	1.759	0.0338	0.0058	↗	-0.0132	-0.0386	↘	non
NA	0.808	1.823	0.817	1.825	0.7887	1.751	0.0283	0.0740	↗	-0.0090	-0.0020	↘	non
Locuteurs													
En contexte consonantique /h/													
FE	0.671	1.397	0.666	1.396	0.731	1.410	-0.0650	-0.0140	↘	0.0050	0.0010	↗	non
CH	0.647	1.430	0.717	1.425	0.761	1.476	-0.0440	-0.0510	↘	-0.0700	0.0050	↘	non
SA	0.606	1.610	0.603	1.674	0.645	1.718	-0.0470	-0.0940	↘	0.0030	-0.0140	↘	non
MA	0.524	1.5140	0.5174	1.482	0.4764	1.494	0.0410	-0.0119	↗	0.0071	0.0315	↗	non
LI	0.742	1.8021	0.7451	1.833	0.7778	1.858	-0.0327	-0.0022	↘	-0.0024	-0.0315	↘	non
NA	0.912	1.834	0.8251	1.794	0.6920	1.731	0.1331	0.0627	↗	0.0869	0.0399	↗	non
Locuteurs													
En contexte consonantique /h_/_/													
FE	0.765	1.328	0.720	1.355	0.751	1.452	-0.0310	-0.0970	↘	0.0450	-0.0270	↘	non
CH	0.676	1.335	0.743	1.436	0.689	1.432	0.0540	0.0040	↗	-0.0670	-0.1010	↘	non
SA	0.655	1.528	0.647	1.557	0.808	1.772	-0.1610	-0.2150	↘	0.0080	-0.0290	↘	non
MA	0.550	0.1539	0.5193	1.529	0.5049	1.565	0.0144	-0.0364	↗	0.0307	-1.3754	↘	non
LI	0.854	1.7855	0.8060	1.819	0.7151	1.821	0.0909	-0.0021	↗	0.0486	-0.0338	↘	non
NA	0.783	1.7379	0.754	1.420	0.8341	1.788	-0.0801	-0.3683	↘	0.0297	0.3179	↗	non

Voyelle /i/	F1L	F2L	F1N	F2N	F1R	F2R	F1N-F1R	F2N-F2R	sens	F1L-F1N	F2L-F2N	sens	centralise
Locuteurs													
En contexte consonantique /a_/_/													
FE	0.400	1.889	0.424	1.956	0.476	1.919	-0.0520	0.0370	↘	-0.0240	-0.0670	↘	non
CH	0.365	2.193	0.443	2.096	0.573	1.791	-0.1300	0.3050	↘	-0.0780	0.0970	↘	oui
SA	0.353	2.010	0.415	1.971	0.540	1.839	-0.1250	0.1820	↘	-0.0620	0.0390	↘	Oui
MA	0.261	2.055	0.362	1.883	0.362	1.883	0	0.0001	↘	-0.1008	0.1700	↘	non
LI	0.249	2.459	0.458	2.204	0.237	1.996	-0.2217	0.2081	↘	-0.2090	0.2555	↘	oui
NA	0.229	2.558	0.352	2.320	0.374	2.271	-0.0220	0.0490	↘	-0.1230	0.2380	↘	oui
Locuteurs													
En contexte consonantique /h/													
FE	0.369	1.801	0.375	1.792	0.404	1.835	-0.0290	-0.0430	↘	-0.0060	0.0080	↘	non
CH	0.369	2.143	0.413	2.082	0.569	1.840	-0.1560	0.2420	↘	-0.0440	0.0610	↘	oui
SA	0.350	2.031	0.373	1.969	0.408	1.984	-0.0350	-0.0150	↘	-0.0230	0.0620	↘	non
MA	0.229	2.123	0.272	1.937	0.236	1.765	0.0362	0.1928	↗	-0.0425	0.1654	↘	non
LI	0.327	2.461	0.417	2.319	0.465	2.085	-0.0481	0.2343	↘	-0.0894	0.1422	↘	oui
NA	0.368	2.656	0.362	2.587	0.357	2.635	0.0042	-0.0480	↘	0.0066	0.0687	↗	non
Locuteurs													
En contexte consonantique /h_/_/													
FE	0.403	1.915	0.403	1.949	0.466	1.928	-0.0630	0.0210	↘	0	-0.0340	↘	non
CH	0.368	2.225	0.453	2.043	0.585	1.861	-0.1320	0.1820	↘	-0.0850	0.1820	↘	oui
SA	0.371	2.003	0.391	1.948	0.558	2.009	-0.1670	-0.0610	↘	-0.0200	0.0550	↘	oui
MA	0.221	1.987	0.234	2.216	0.283	2.144	-0.0490	0.0720	↘	-0.0132	-0.2295	↘	non
LI	0.212	2.386	0.310	2.279	0.474	2.163	-0.1641	0.1158	↘	-0.0975	0.1072	↘	oui
NA	0.347	2.676	0.377	2.326	0.378	2.468	-0.0014	-0.1417	↘	-0.0297	0.3503	↘	non

Voyelle /u/	F1L	F2L	F1N	F2N	F1R	F2R	F1N-F1R	F2N-F2R	sens	F1L-F1N	F2L-F2N	sens	centralise
Locuteurs													
En contexte consonantique /a_/_/													
FE	0.420	1.066	0.444	1.216	0.498	1.250	-0.0540	-0.0340	↘	-0.0240	-0.1500	↘	oui
CH	0.413	0.748	0.480	0.915	0.584	1.110	-0.1040	-0.1950	↘	-0.0670	-0.1670	↘	oui
SA	0.379	0.923	0.432	1.040	0.554	1.304	-0.1220	-0.2640	↘	-0.0530	-0.1170	↘	oui
MA	0.297	0.972	0.3215	1.057	0.317	1.338	0.0045	-0.2810	↘	-0.0245	-0.0850	↘	non
LI	0.237	0.997	0.3188	1.1968	0.4346	1.2531	-0.1158	-0.0563	↘	-0.0818	-0.1998	↘	oui
NA	0.280	0.867	0.4668	1.1854	0.5257	1.2802	-0.0589	-0.0948	↘	-0.1868	-0.3184	↘	non
Locuteurs													
En contexte consonantique /h/													
FE	0.433	0.945	0.445	1.063	0.470	1.035	-0.0250	0.0280	↗	-0.0120	-0.1180	↘	non
CH	0.364	0.770	0.452	0.989	0.586	1.149	-0.1340	-0.1600	↘	-0.0880	-0.2190	↘	oui
SA	0.372	0.927	0.405	1.039	0.439	1.177	-0.0340	-0.1380	↘	-0.0330	-0.1120	↘	oui
MA	0.262	1.1458	0.2628	1.0928	0.2495	1.1696	0.0133	-0.0768	↗	-0.0008	0.0530	↘	non
LI	0.258	1.0243	0.3203	1.1224	0.4592	1.2720	-0.1389	-0.1496	↘	-0.0623	-0.0981	↘	oui
NA	0.237	0.764	0.324	0.975	0.3950	1.0403	-0.0710	-0.0653	↘	-0.0870	-0.2110	↘	oui
Locuteurs													
En contexte consonantique /h_/_/													
FE	0.421	1.005	0.450	1.135	0.471	1.276	-0.0210	-0.1410	↘	-0.0290	-0.1300	↘	oui
CH	0.407	0.699	0.491	0.922	0.575	1.186	-0.0840	-0.2640	↘	-0.0840	-0.2230	↘	oui
SA	0.407	0.957	0.3619	0.9600	0.581	1.251	-0.2191	-0.2910	↘	0.0451	-0.0830	↘	non
MA	0.233	0.976	0.2562	1.1717	0.2608	1.2935	-0.0046	-0.1218	↘	-0.0232	-0.1957	↘	oui
LI	0.2587	1.0243	0.3439	1.3098	0.4751	1.5275	-0.1312	-0.2177	↘	-0.0852	-0.2855	↘	oui
NA	0.212	0.866	0.4124	1.0592	0.4183	1.1874	-0.0059	-0.1282	↘	-0.2004	-0.1932	↘	oui

Tableau 4. Variation des formants F1 et F2 et centralisation des voyelles, avec le débit, en fonction du contexte consonantique, pour chaque locuteur et centralisation

Tableau récapitulatif des tableaux 4

voyelle	Cas de centralisation ou non centralisation des voyelles					Total de cas de centralisation par locuteur pour toutes les voyelles et les contextes consonantiques	Total de cas de non centralisation par locuteur pour toutes les voyelles et les contextes consonantiques
	/a/	/i/	/i/	/u/	/u/		
Locuteur	oui	non	oui	non	oui		
FE	0	3	0	1	2	2	4
CH	0	0	3	0	3	6	0
SA	0	2	1	1	2	3	3
MA	0	3	0	2	1	1	5
LI	0	0	3	0	3	6	0
NA	0	2	1	1	2	3	3

Tableau 5. Nombre de cas de centralisation des voyelles /a/, /u/, en fonction du locuteur

Les résultats obtenus pour nos locuteurs semblent :

- d'une part rejoindre ceux de certains chercheurs en production de parole perturbée, par rapport à la réduction vocalique, la centralisation la variation des patrons temporels et l'absence de centralisation pour la voyelle /a/. En effet, nos résultats montrent qu'aucun locuteur ne centralise pour le /a/, ce qui rejoint ceux trouvés par Lindblom [2] et Ferbach-Hecker [9] qui n'ont pas observé de centralisation pour cette voyelle.
- d'autre part, ces résultats semblent être liés au parlé des locuteurs. En effet :
 - Les libanais CH et LI, dont la langue maternelle est proche de l'arabe littéral, centralisent le plus et gardent des durées relatives constantes. Cela pourrait s'interpréter par une compensation de la vitesse par une centralisation des voyelles, pour atteindre leurs cibles acoustiques. Ce qui pourrait être synonyme d'un bon contrôle moteur [1] en contrainte de débit.
 - Les algérois FE et MA, dont la langue maternelle est moins proche de l'arabe littéral que les libanais, viennent en deuxième position. Ils présentent des patrons temporels variables avec le débit et ils centralisent le moins. Donc on peut considérer qu'ils ont besoin d'une seule compensation en contrainte de débit pour atteindre les cibles acoustiques. Comme ils centralisent très peu, nous pouvons dire qu'ils ont un contrôle moteur moins bon [1] que les libanais en contrainte de débit.
 - Les kabyles SA et NA viennent en troisième position. Ils ont besoin de deux compensations (une temporelle et une fréquentielle) pour atteindre leurs cibles acoustiques, donc deux fois plus d'effort. Ce qui pourrait être synonyme de contrôle moteur relativement mauvais en contrainte de débit.

Nos résultats montrent en outre que :

- CH et LI suivent le schéma d'une parole neutre prononcée par un locuteur ayant un contrôle fin. Ils se trouvent vraiment dans le premier cas de la stratégie de Gay : la stratégie d'amplitude (*amplitude strategy*).
- FE et MA centralisent très peu, donc ils se trouvent dans le 2ème cas de la stratégie de Gay (ou la stratégie de vitesse (*velocity strategy*)). Il y a variation des patrons temporels en variation de débit mais les patrons

fréquentiels varient très peu. Ils ont un bon contrôle moteur mais moins fin que LI et CH en contrainte de débit.

- SA et NA se trouvent entre les deux cas : ils font varier leurs patrons temporels et leurs patrons fréquentiels en variation de débit, donc, ce sont ceux qui font le plus d'efforts pour atteindre leurs cibles acoustiques. Cela laisse à supposer qu'ils ont un mauvais contrôle moteur en contrainte de débit.

Les résultats obtenus dans cette étude nous ont permis de dégager les stratégies adoptées en langue seconde par six locuteurs, en utilisant comme paradigme de recherche le débit d'élocution ; cependant, pour que ces résultats soient plus robustes, il serait intéressant :

- de faire la même étude sur la langue maternelle de chaque locuteur et de vérifier si les stratégies employées pour leur langue première sont les mêmes que pour la langue seconde (l'arabe littéral) en contrainte de débit.
- d'augmenter le nombre de locuteurs (ici 6).
- de changer la langue seconde afin de voir si les mêmes stratégies sont adoptées par les locuteurs pour d'autres langues secondes.

Par ailleurs, la méthodologie développée dans cette étude pourrait être appliquée à d'autres types de contraintes artificielles pour viser d'autres objectifs, et permettre l'analyse de parole pathologique par le biais des patrons temporels et fréquentiels du signal acoustique.

REFERENCES

- [1] Gay, T. 1978. "Effects of speaking rate on vowel formant movements". *Journal of the Acoustical Society of America* 63(1):223-230.
- [2] Lindblom, B. (1983), *Economy of Speech Gestures*, vol. The Production of Speech, Spinger-Verlag, New-York.
- [3] Perkell, J. S., M. L. Matthies, M. A. Svirsky et M. I. Jordan. 1993. «Trading relations between tongue-body raising and lip rounding in production of the vowel /u/: A pilot "motor equivalence" study». *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 93, no 5, 2948-2961.
- [4] McFarland, D. H., S. R. Baum et C. Chabot. 1996. «Speech compensation to structural modifications of the oral cavity».

- Journal of the Acoustical Society of America, vol 100, no2, p.1093-1104.
- [5] Perkell, J. S., F. H. Guenther, H. Lane, M. Matthies, P. Perrier, J. Vick, R. Wilhelms-Tricarico et M. Zandipour. 2000. «A theory of speech motor control and supporting data from speakers with normal hearing and with profound hearing loss». *Journal of Phonetics*, vol. 28, p. 233-272.
- [6] Jones, J. A et K. G. Munhall. 2003. «Learning to produce speech with an altered vocal tract: The role of auditory feedback». *Journal of the Acoustical Society of America*, vol.113, no 1, p. 532-543.
- [7] Gendrot, C. and Adda-Decker, M. (2004), "Analyses formantiques automatiques de voyelles orales : évidence de la réduction vocalique en langues française et allemande", in *MIDL*.
- [8] Jérôme Aubin; « Effets acoustiques et articulatoires des perturbations labiales sur la parole des enfants et des adultes ». Université du Québec à Montréal. Décembre 2005.
- [9] V. Ferbach-Hecker. La résistivité de la qualité des voyelles orales du français. In *SCOLIA*, volume 20, pages 115-134, 2005.
- [10] Fabrice Hirsch. « Étude de la structure formantique des voyelles produites par des locuteurs bègues en vitesses d'élocution normale et rapide » 2005. Institut de Phonétique de Strasbourg – E.A. 1339 – LiLPa -Composante Parole et Cognition - Université Marc Bloch
- [11] Lane, H., M. Denny, F. H. Guenther, M. Matthies, L. Ménard, J. S. Perkell, E. Stockmann, M. Tiede, J. Vick et M. Zandipour. 2005. «Effects of bite blocks and hearing status on vowel production». *Journal of the Acoustical Society of America*, vol.118, no 3, p. 1636-1646.
- [12] Beller, G., Schwarz, D., Hueber, T. and Rodet, X. (2006), "Speech rates in french expressive speech", in *Speech Prosody*, SproSig, Dresden: ISCA
- [13] A. Calabrino. « Effets acoustiques du débit sur la production de la parole chez des locuteurs enfants et adultes ». Actes du Xe Colloque des étudiants en sciences du langage : 61-83, 2006
- [14] Fabrice Hirsch, Véronique Ferbach-Hecker, Florence Fauvet & Béatrice Vaxelaire. « Étude de la structure formantique des voyelles produites par des locuteurs bègues en vitesses d'élocution normale et rapide ». Jep 2006
- [15] Grégory Beller. « Influence de l'expressivité sur le degré d'articulation ». Actes des VIIèmes RJC Parole, Paris, 5 et 6 juillet 2007. Page 24 IRCAM - Institut de Recherche et Coordination Acoustique Musique.

NOTICE

The Board of Directors is proposing a bylaw change for the date of the financial year-end from August 31st to June 30th to facilitate management of the Association, as indicated during the 2008 Annual General Meeting (AGM) in Vancouver on Oct. 7 and in the minutes of the AGM posted in the December issue of Canadian Acoustics. Final debate and voting on this issue will take place during the 2009 AGM in Niagara-on-the-Lake on Oct. 15th.

AVIS

The Comité de Direction désire modifier la fin de l'année financière du 30 juin au 31 août pour faciliter la gestion de l'Association. Cette proposition de changement aux statuts de l'association a été annoncée lors de l'Assemblée générale annuelle le 7 octobre 2008 à Vancouver et le procès-verbal de cette Assemblée a été publié dans l'édition de décembre de l'Acoustique Canadienne. Un débat et vote final sur cette question aura lieu lors de la prochaine Assemblée générale annuelle à Niagara-on-the-Lake, le 15 octobre 2009.

WHAT'S NEW in Canada ??

*Promotions
Deaths
New jobs
Moves*

*Retirements
Degrees awarded
Distinctions
Other news*

Do you have any news that you would like to share with Canadian Acoustics readers? If so, send it to:

QUOI DE NEUF en Canada??

*Promotions
Décès
Offre d'emploi
Déménagements*

*Retraites
Obtention de diplômes
Distinctions
Autres nouvelles*

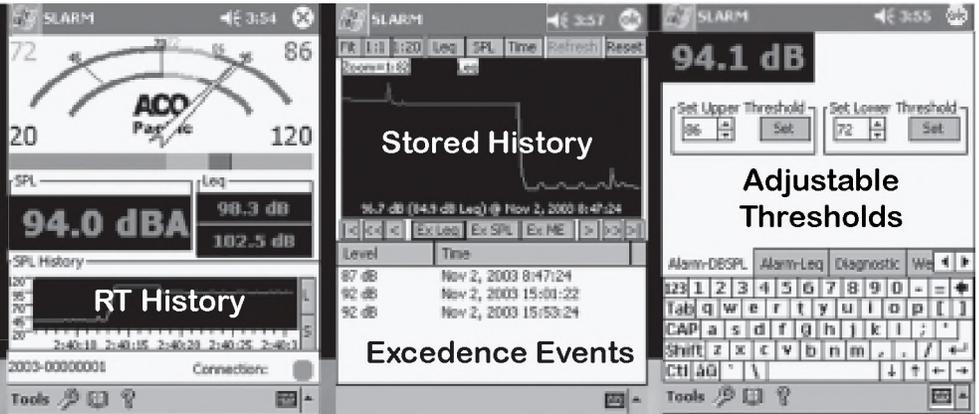
Avez-vous des nouvelles que vous aimeriez partager avec les lecteurs de l'Acoustique Canadienne? Si oui, écrivez-les et envoyer à:

Jeremie Voix - Email: voix@caa-aca.ca

Noise Pollution

The SLARM™ Solution

PDA & Laptop
Displays
Wired
Wireless



The SLARM™ developed in response to increased emphasis on hearing conservation and comfort in the community and workplace incorporates ACOustAlert™ and ACOustAlarm™ technology. Making the SLARM™ a powerful and versatile sound monitoring/alarm system.

Typical Applications Include:

Community

- ◆ Amphitheaters
- ◆ Outdoor Events
- ◆ Nightclubs/Discos
- ◆ Churches
- ◆ Classrooms

Industrial

- ◆ Machine/Plant Noise
- ◆ Fault Detection
- ◆ Marshalling Yards
- ◆ Construction Sites
- ◆ Product Testing

FEATURES

- ✓ Wired and Wireless (opt)
- ✓ USB, Serial, and LAN(opt) Connectivity
- ✓ Remote Displays and Programming
- ✓ SPL, Leq, Thresholds, Alert and Alarm
- ✓ Filters (A,C,Z), Thresholds, Calibration
- ✓ Multiple Profiles (opt)
- ✓ 100 dB Display Range:
- ✓ 20-120 dBSPL and 40-140 dBSPL
- ✓ Real-time Clock/Calendar
- ✓ Internal Storage: 10+days @1/sec
- ✓ Remote Storage of 1/8 second events
- ✓ 7052S Type 1.5™ Titanium Measurement Mic



2604 Read Ave., Belmont, CA 94002 Tel: 650-595-8588 FAX: 650-591-2891
www.acopacific.com acopac@acopacific.com

ACOustics Begins With ACO™