



HAL
open science

Sur les traces acoustiques de / / et /ç/ en allemand L2

Jane Wottawa, Martine Adda-Decker

► **To cite this version:**

Jane Wottawa, Martine Adda-Decker. Sur les traces acoustiques de / / et /ç/ en allemand L2. Journées d'étude sur la Parole (JEP 2016), Jul 2016, Paris, France. halshs-01427999

HAL Id: halshs-01427999

<https://shs.hal.science/halshs-01427999>

Submitted on 27 Jun 2024

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.

Sur les traces acoustiques de /ʃ/ et /ç/ en allemand L2

Jane Wottawa¹ Martine Adda-Decker¹

(1) LPP, UMR 7018 CNRS - U. Paris 3 / Sorbonne Nouvelle,

19 rue des Bernardins, 75005 Paris, France

jane.wottawa@univ-paris3.fr, martine.adda-decker@univ-paris3.fr

RÉSUMÉ

Les apprenants français de l'allemand ont des difficultés à produire la fricative palatale sourde allemande /ç/ (*Ich-Laut*) et ont tendance à la remplacer par la fricative post-alvéolaire /ʃ/. Nous nous demandons si avec des mesures acoustiques ces imprécisions de production peuvent être quantifiées d'une manière plus objective. Deux mesures acoustiques ont été examinées afin de distinguer au mieux /ʃ/ et /ç/ dans un contexte VC en position finale de mot dans des productions de locuteurs germanophones natifs. Elles servent ensuite à quantifier les difficultés de production des apprenants français. 285 *tokens* de 20 locuteurs natifs et 20 locuteurs L2 ont été analysés. Les mesures appliquées sont le centre de gravité spectral et des rapports d'intensité par bande de fréquence. Sur les productions de locuteurs natifs, les résultats montrent que la mesure la plus fiable pour distinguer acoustiquement /ʃ/ et /ç/ est le ratio d'intensité entre fréquences hautes (4-7 kHz) et basses (1-4 kHz). Les mesures confirment également les difficultés de production des locuteurs natifs français.

ABSTRACT

Acoustic tracing of /ʃ/ and /ç/ in German L2.

French learners of German often replace the unvoiced palatal fricative /ç/ (*Ich-Laut*) by the post-alveolar fricative /ʃ/. We are interested in whether acoustic measurements can help quantifying these production imprecisions in an objective way. We examined two acoustic measures to distinguish between /ʃ/ and /ç/ in a word-final VC position. A total of 285 tokens of 20 native and 20 non-native speakers were analyzed. The applied measures are the spectral centre of gravity and intensity per frequency band. We introduced an intensity ratio between high (4-7kHz) and low (1-4 kHz) frequency bands. On native speech, results show that the most reliable measure to distinguish between /ʃ/ and /ç/ is the intensity ratio between high and low frequency bands. The measurements also confirm the production difficulties of the French native speakers.

MOTS-CLÉS : fricatives, mesures acoustiques, intensité, allemand, français, production en L2.

KEYWORDS: fricatives, acoustic measures, intensity, German, French, L2 production.

1 Introduction

Apprendre une langue étrangère ne se limite pas à l'apprentissage des règles de grammaire et du vocabulaire. La prononciation est aussi importante pour s'intégrer dans une communauté linguistique. Dans notre recherche, nous nous intéressons à la prononciation de l'allemand par des apprenants francophones vivant en France métropolitaine. L'allemand et le français n'ont pas le même inventaire phonétique : l'allemand standard ne connaît pas de voyelles nasales, le français ne compte pas /h/, /ɲ/ et /ç/ (*Ich-Laut*) parmi ses consonnes. Les apprenants des deux langues ont souvent des difficultés à produire des sons qui sont absents de l'inventaire phonétique de leur langue maternelle même s'ils sont capables de les apprendre grâce à un entraînement approprié (Flege *et al.*, 1995). Afin de fournir un *feedback* de prononciation fiable et propre à chaque apprenant, nous voulons trouver des mesures acoustiques qui nous permettent de comparer leur production orale à l'allemand standard. C'est pourquoi, nous nous intéressons dans cet article à la production du /ç/ dans des mots allemands par des germanophones (GG) et des francophones (FG). Les FG ont tendance à produire la fricative post-alvéolaire /ʃ/ existant en français au lieu de /ç/ absent de l'inventaire phonémique du français ou à généraliser la production de /ç/ une fois que celle-ci est bien acquise.

1.1 Les fricatives allemandes /ʃ/ et /ç/

L'allemand possède plusieurs fricatives qui ne font pas partie de l'inventaire consonantique du français. En plus du /h/ qui pose des problèmes bien connus aux natifs français (Zimmerer & Trouvain, 2015; Wottawa *et al.*, 2015), il y a deux fricatives sourdes, une palatale (*Ich-Laut*) et une vélaire (*Ach-Laut*), qui sont considérées comme allophones du même phonème, dans la mesure où elles apparaissent en distribution complémentaire dans le lexique : le [ç] se trouve après les voyelles antérieures (et consonnes) et le [x] après les voyelles postérieures et le /a/ (Kohler, 1990), en général en fin de mot (*Buch* [bʊx], livre) ou en fin de morphème (*riech-en* [ʁiç-ən], sentir). Nous nous intéressons ici à la fricative palatale sourde qui est souvent remplacée par les locuteurs natifs français par son plus proche voisin, la post-alvéolaire /ʃ/. Dans la langue allemande on trouve peu de paires minimales (*fische* [fɪʃtə] pêcher (participe) - *Fichte* [fɪçtə], épicéa ; *misch* [mɪʃ] mélanger (vocatif) - *mich* [mɪç] moi) et les germanophones natifs eux-mêmes sont parfois amenés à confondre les deux sons.

La fricative post-alvéolaire /ʃ/ peut se trouver soit au début soit à la fin d'une syllabe allemande, par exemple : *schnell* [ʃnɛl] (rapide) et *Fisch* [fɪʃ] (poisson) et dans le suffixe *-isch*. La fricative palatale sourde /ç/ forme souvent un cluster consonantique avec la plosive /t/ à la fin des mots monosyllabiques : *Licht* [lɪçt] (lumière), *echt* [ɛçt]. Dans la morphologie dérivationnelle, les suffixes *-chen* et *-(l)ich* contiennent également la palatale sourde /ç/. Nous nous concentrons ici sur la réalisation des suffixes *-isch* [ɪʃ] et *-(l)ich* [(l)ɪç] par des germanophones natifs et non-natifs.

Dans figure 1 les mots *solidarisch* et *freundlich*, illustrés par des spectrogrammes, ont été extraits à partir du même fichier son. Les différences observées ne résultent alors pas de conditions d'enregistrement différentes. Le dernier segment, au niveau phonémique, pour les deux mots correspond aux fricatives que nous essayons distinguer par des mesures acoustiques. /ʃ/ se distingue du /ç/ par une intensité plus importante qui se traduit par une portion de bruit plus noircie dans le spectrogramme. Mais nous observons également dans le spectrogramme que les deux fricatives /ʃ/ et /ç/ semblent se situer sur la même plage de fréquence.

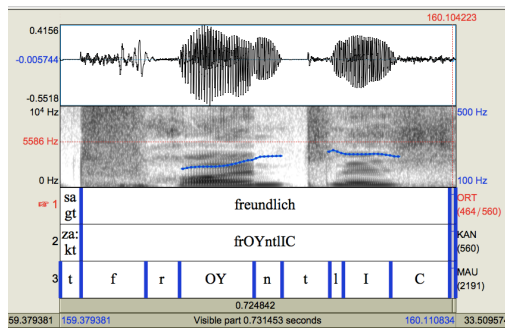
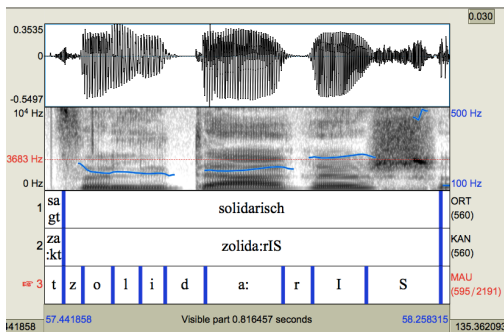


FIGURE 1 – Spectrogrammes de mots en [-Iʃ] et [-Iç] - GG, féminin

À la suite, le choix du matériel acoustique est expliqué, suivie d'une présentation des mesures acoustiques du centre de la gravité et de l'intensité par bande de fréquence avec leurs résultats respectifs après leur application aux productions des locuteurs germanophones natifs et non-natifs.

2 Choix du matériel acoustique

Nous avons extrait les mots qui portent les suffixes *-Iʃ/* ou *-Iç/* tels que *solidarisch* [zoli'da :rɪ] (solidaire) ou *freundlich* ['frʊntliç] (aimable) du *French Learners Audio Corpus of German Speech* (FLACGS) enregistré au Laboratoire de Phonétique et de Phonologie, Paris 3 (LPP) entre 2014 et 2015, . Ainsi un ensemble de 285 *tokens* de 40 locuteurs dont 20 natifs et 20 non-natifs a été analysé. Cette étude s'intéresse uniquement aux mots produits dans la tâche de répétition. Ce matériel a l'avantage de présenter tous les mots cibles au milieu d'une des phrases cadre : *Er sagt ... klar und deutlich* ou *Ich sage ... klar und deutlich*. Les différences acoustiques que nous observons entre les mots en *-Iʃ/* et *-Iç/* ne sont alors pas liées à la position du mot dans la phrase. Tous les mots cibles produits dans la tâche de répétition portent l'accent de phrase même si les suffixes eux-mêmes ne sont pas accentués. Les fricatives */ʃ/* et */ç/* sont précédées par la voyelle */ɪ/* et suivies d'une pause et de la plosive */k/*.

Locuteurs	GG				FG			
	femmes		hommes		femmes		hommes	
Canonique	[ʃ]	[ç]	[ʃ]	[ç]	[ʃ]	[ç]	[ʃ]	[ç]
[ʃ]	100,0 %	0,0 %	96,7 %	0,0 %	73,3 %	40 %	53,3 %	22,5 %
[ç]	0,0 %	87,5 %	0,0 %	87,5 %	16,7 %	45 %	33,3 %	72,5 %
Ambiguë	0,0 %	12,5 %	3,3 %	12,5 %	10 %	15 %	13,3 %	5 %

TABLE 1 – Perception des suffixes */Iʃ/* et */Iç/* chez les GG et les FG

Les 285 *tokens* (les mots entiers) ont été jugés par un locuteur germanophone natif selon la prononciation du suffixe. Dans Table 1 les résultats de ce jugement perceptif sont résumés. Le tableau dégage trois catégories perceptives pour les fricatives canoniques */ʃ/* et */ç/*. La troisième catégorie qui s'ajoute est une fricative qui pourrait se situer entre les deux fricatives canoniques et n'est pas parfaitement identifiable comme */ʃ/* ou */ç/*. Chez les germanophones natifs, cette catégorie est plutôt une variante

pour la fricative palatale sourde /ç/ qui est produite autant par les femmes que les hommes. Chez les non-natifs, nous observons des confusions entre /j/ et /ç/ qui sont absentes dans le groupe de natifs pour la tâche de répétition. Des substitutions de /ç/ par /j/ ont été observées par d'autres chercheurs qui s'intéressent à l'apprentissage de l'allemand par des francophones (Jouvet *et al.*, 2015). Le fait que /j/ à son tour puisse être remplacé par /ç/ n'est par mentionné par Jouvet *et al.* (2015). Les locuteurs francophones qui ont effectué cette substitution n'ont souvent pas substitué les fricatives /ç/ canoniques par /j/. Il est alors possible que les substitutions de /j/ par /ç/ indiquent une hypercorrection de la part des apprenants.

3 Mesures acoustiques

Les mesures acoustiques menées sur le sous-ensemble du corpus présenté dans section 2 ont pour objectif de définir si un locuteur non-natif (ou même natif) produit la fricative canonique dans les différents mots.

Les mesures acoustiques ont été menées avec le logiciel Praat (Boersma & Weenink, 2016). Dans ce cadre, les fichiers sons ont été transcrits manuellement selon l'orthographe allemande, puis la transcription a été alignée automatiquement avec le service web MAUS (*Munich Automatic Segmentation*) (Schiel, 1999; Kislser *et al.*, 2012). A la fin, une vérification manuelle a été effectuée sur des mots choisis.

Nous allons à présent aborder les mesures du centre de gravité et des rapports d'intensité par bande de fréquence d'une part avec la voyelle précédant la fricative et d'autre part entre les fréquences hautes et basses de la fricative.

3.1 Centre de gravité

Le centre de gravité correspond à la moyenne fréquentielle pondérée par son amplitude. Cette mesure est utile si l'on veut distinguer les différentes fricatives tel que cela a été proposé par différentes équipes de recherche (Žygis & Padgett, 2010; Kemp, 2011; Benamrane, 2013). Afin de savoir comment le centre de gravité évolue sur l'ensemble de la fricative, nous avons extrait le centre de gravité du début, du milieu et de la fin de la fricative avec Praat. Les valeurs ont ensuite été moyennées sur la population entière.

3.2 Bandes de fréquences

La figure 1 montre que /j/ a une intensité plus élevée que /ç/. Les mesures du centre de gravité qui sont présentées dans section 4.1 suggèrent qu'une analyse complémentaire est nécessaire pour distinguer les deux fricatives allemandes /j/ et /ç/. Dans le spectrogramme, nous observons que l'intensité n'est pas distribuée à part égale sur toutes les bandes de fréquences pour les fricatives /j/ et /ç/. Nous proposons alors une analyse par bande de fréquence. Avec Praat, l'intensité de la fricative est extraite entre 1-3kHz, 1-4kHz, 3-6kHz et 4-7kHz. Nous observons dans un premier temps les valeurs brutes par bande de fréquence, puis nous calculons le ratio de l'intensité par bande de fréquence entre la fricative et la voyelle précédente enfin, nous proposons un ratio entre bandes de fréquences hautes et basses.

4 Résultats

4.1 Centre de gravité

Les analyses du centre de gravité ne montrent pas de différence entre les deux fricatives [ʃ] et [ç] dans les productions des germanophones natifs. En effet, comme nous pouvons l'observer dans figure 2, la seule différence entre [ʃ] et [ç] est la largeur de la plage spectrale occupée par le centre de gravité de la fricative : chez les natifs [ʃ] occupe une plage qui se situe entre 2898 et 4038 Hz si on regarde les valeurs du deuxième et troisième quartile tandis que [ç] occupe une plage qui se situe entre 2379 et 5283 Hz. Chez les non-natifs, la plage occupée par le centre de gravité de la fricative [ʃ] est plus large que chez les germanophones natifs. Elle se situe entre 2337 et 4066 Hz. Nous observons aussi plus de variabilité entre le début, le milieu et la fin de la fricative chez les non-natifs. Chez les non-natifs, la plage du centre de gravité se restreint au fur et à mesure tandis qu'elle reste constante chez les germanophones natifs. Concernant le centre de gravité de la fricative [ç], chez les deux groupes de locuteurs, la plage occupée est large mais chez les natifs elle se situe dans une bande de fréquence plus élevée que chez les non-natifs : pour les valeurs les plus basses, il y a une différence de plus que 600 Hz et pour les valeurs les plus élevées la différence excède les 1000 Hz. Dans les productions des non-natifs, nous observons les valeurs maximales du centre de gravité des [ç] qui correspondent à ceux de leur [ʃ] tandis que les germanophones natifs ont tendance à produire des [ç] dont les valeurs les plus élevées du centre de gravité dépassent nettement celles observées pour le [ʃ] des locuteurs natifs. Chez les deux groupes de locuteurs, la figure 2 montre une variabilité du centre de gravité pour le début, le milieu et la fin de [ç] dont le sommet se trouve sur la portion du milieu. Chez les natifs, le sommet est plus prononcé que chez les non-natifs.

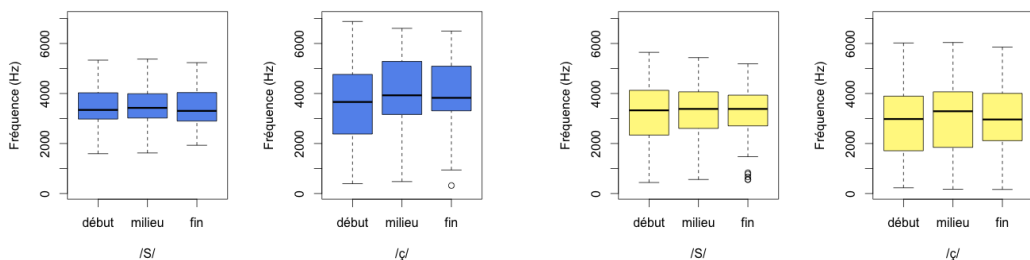


FIGURE 2 – Centre de gravité pour les trois portions de fricative - GG à gauche et FG à droite

Malgré les différences spectrales du centre de gravité entre [ʃ] et [ç], cette mesure acoustique, à elle seule, n'est pas fiable pour distinguer les deux fricatives. Les plages de fréquences occupées par les centres de gravité des deux consonnes se chevauchent. Une distinction tranchée est alors impossible aussi bien pour les natifs que pour les non-natifs. L'inventaire consonantique gaélique contient également les fricatives /ʃ/ et /ç/ (Gordon *et al.*, 2002). Les chercheurs rapportent également des centres de gravité très proches pour la moyenne de groupe. Le centre de gravité ne semble pas être une mesure acoustique suffisamment précise pour distinguer les fricatives palatales sourdes et les fricatives post-alvéolaires.

4.2 Bandes de fréquences

4.2.1 Valeurs absolues

Comme pour le centre de gravité, les mesures d'intensité par bande de fréquence sont prises à partir du spectre. La figure 3 montre l'intensité moyenne par bande de fréquence des fricatives [ʃ] et [ç] pour les locuteurs natifs et non-natifs. Les bandes de fréquences sont indiquées sur l'abscisse en kHz.

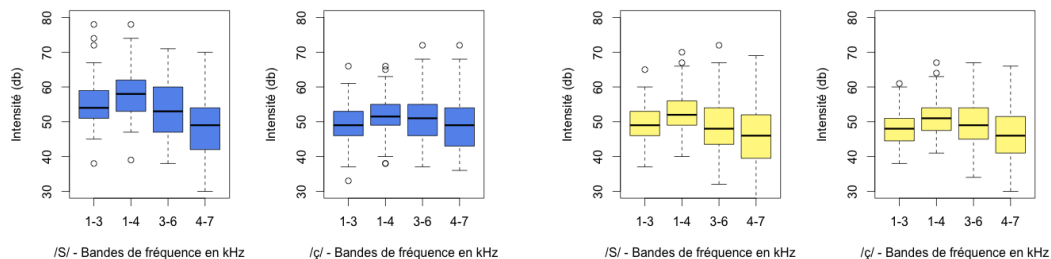


FIGURE 3 – Intensité par bande de fréquence - GG à gauche et FG à droite

Les moyennes des valeurs absolues présentées en figure 3 ne donnent pas de séparation précise entre [ʃ] et [ç], ni pour les natifs ni pour les non-natifs. Pour les deux groupes de locuteurs, nous observons moins de chevauchement pour la bande de fréquence qui se situe entre 1 et 4 kHz. C'est sur cette bande de fréquence que nous calculons le ratio de l'intensité entre la voyelle [ɪ] et la fricative suivante [ʃ] ou [ç].

4.2.2 Ratio entre [ʃ]/[ɪ] ou [ç]/[ɪ]

La table 2 récapitule le taux d'identification de [ʃ] et [ç] dans les suffixes /ɪʃ/ et /ɪç/ chez les natifs et les non-natifs. La classification semble plutôt solide si l'on se base sur la représentation canonique des fricatives. En revanche, les valeurs présentées dans la table 2 ne correspondent pas aux valeurs de perception que nous avons pu observer dans la table 1. Seul, le ratio établi entre la fricative et la voyelle précédente ne nous donne pas des résultats fiables pour décider si les locuteurs produisent [ʃ] ou [ç]. La fiabilité réduite de la mesure est étroitement liée à la grande variabilité qui existe entre les locuteurs (même natifs) dans leur productions de [ɪʃ] et [ɪç].

Locuteurs	GG				FG			
	femmes		hommes		femmes		hommes	
Canonique	[ʃ]	[ç]	[ʃ]	[ç]	[ʃ]	[ç]	[ʃ]	[ç]
[ʃ]	92,6 %	2,8 %	97,0 %	29,5 %	69,7 %	51,1 %	69,2 %	47,1 %
[ç]	7,4 %	97,2 %	3,0 %	70,5 %	30,3 %	48,9 %	30,8 %	52,9 %

TABLE 2 – Reconnaissance de [ʃ] et [ç] avec le ratio C/V, bande : 1-4kHz, seuil = 1,03

4.2.3 Ratio entre les bandes de fréquences hautes et basses

Afin de nous assurer que les résultats peu stables de la section 4.2.2 ne sont pas liés à la qualité vocalique, nous présentons maintenant le ratio entre l'intensité des bandes de fréquences hautes et basses pour les fricatives [ʃ] et [ç]. Nous divisons les mesures effectuées en deux et analysons d'abord le classement par les fricatives canoniques et ensuite le classement selon le phonème perçu.

Figure 4 illustre les différences qui existent entre le classement des phonèmes canoniques et les phonèmes perçus. Les différences sont surtout visibles pour les natifs. A la fois pour les phonèmes canoniques et les phonèmes perçus, nous observons de grands écart-types qui suggèrent qu'un classement précis entre les fricatives allemandes [ʃ] et [ç] est compliqué. Encore une fois, la variabilité entre les locuteurs est trop importante pour décider d'une manière fiable par des mesures acoustiques si la fricative produite est [ʃ] ou [ç].

D'après les résultats du ratio entre l'intensité des fréquences hautes et basses, il semble exister une troisième catégorie de fricative au moins pour les natifs. Dans nos données, les natifs remplacent 12,5% de leur productions de [ç] par une autre variante (cf. table 1). La partie droite de la figure 4 suggère que cette variante ne se situe pas entre les fricatives [ʃ] et [ç] au moins pour les natifs mais qu'elle est plutôt associée à la catégorie de [ç].

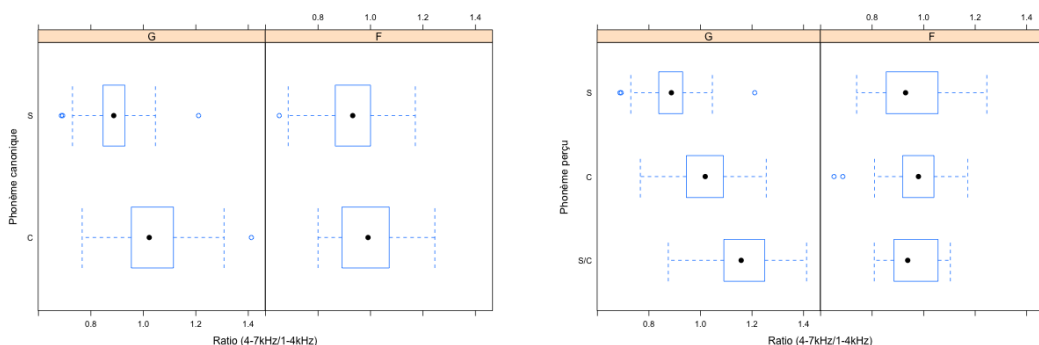


FIGURE 4 – Ratio entre les fréquences hautes et basses - canonique à droite, perçu à gauche

Dans la table 3 sont résumés les résultats pour le classement des fricatives canoniques et perçus à un seuil de 0,96 pour le ratio entre l'intensité des fréquences hautes et basses. Le tableau montre que les valeurs sont plus précises pour les phonèmes perçus la mesure ne suffit pas à elle seule pour que nous puissions distinguer [ʃ] et [ç] d'une manière précise. Pour les non-natifs, la classification des phonèmes perçus n'est pas meilleure que celle des phonèmes canoniques. Dans la figure 4, nous pouvons observer que les trois catégories de perception chez les non-natifs ne sont pas bien distinctes pour le ratio d'intensité entre fréquences hautes et basses. Il semble que la troisième catégorie perçue chez les non-natifs soit en effet une variante de fricative qui se situe entre [ʃ] et [ç].

La table 3 suggère également que les groupes de locuteurs pour l'analyse de l'intensité ne doivent pas seulement être séparés en locuteurs germanophones natifs et non-natifs mais aussi en hommes et femmes.

Locuteurs	GG					
	femmes			hommes		
Canonique	[ʃ]	[ç]	A	[ʃ]	[ç]	A
Classification [ʃ] (canonique)	75,0 %	0,0 %	nd	81,3 %	50 %	nd
Classification [ç] (canonique)	25,0 %	100 %	nd	18,7 %	50 %	nd
Classification [ʃ],[ç], A (perception)	87,1 %	100 %	100 %	86,2 %	45,7 %	66,7 %

Locuteurs	FG					
	femmes			hommes		
Canonique	[ʃ]	[ç]	A	[ʃ]	[ç]	A
Classification [ʃ] (canonique)	39,4 %	26,1 %	nd	74,1 %	54,9 %	nd
Classification [ç] (canonique)	60,6 %	73,9 %	nd	25,9 %	45,1 %	nd
Classification [ʃ],[ç], A (perception)	40,5 %	75,0 %	75,0 %	79,2 %	42,1 %	0,0 %

TABLE 3 – Reconnaissance par le ratio entre les fréquences 4-7 kHz et 1-4 kHz, seuil = 0,96

5 Discussion et conclusion

Afin de distinguer les productions de [ʃ] et [ç] chez les natifs et non-natifs, nous avons effectué des mesures du centre de gravité et de l'intensité par bande de fréquences.

Concernant les locuteurs natifs, [ʃ] et [ç] sont le mieux séparés par les mesures d'intensité prenant en compte la voyelle précédente dans la bande de fréquence de 1-4 kHz. En effet, l'intensité de [ʃ] est maximale dans cette plage de fréquence (cf. figure 3). La mesure livre des résultats très robustes pour les femmes. Chez les hommes, [ç] est parfois confondu avec [ʃ] (29,5%). Cela peut être lié à différents facteurs. D'une part, il semble que les hommes produisent les fricatives palatales avec une intensité plus élevée que les femmes, d'autre part, les occurrences de [ç] qui étaient ambiguës en perception (cf. table 1) ont été classifiées en tant que [ʃ] chez les hommes. Avec la même approche, la classification des productions non-natives de [ç] se situe seulement autour de 50%. Ce résultat suggère que la mesure contextuelle n'aide pas à trancher entre [ʃ] et [ç] chez les non-natifs.

Pour les non-natifs, les meilleurs résultats pour la distinction de [ʃ] et [ç] est le ratio entre les fréquences 4-7 kHz (hautes) et 1-4 kHz (basses) (cf. table 3). Nous observons une différence entre hommes et femmes. Avec cette méthode, le [ç] est mieux classifié pour les femmes que pour les hommes. Concernant le [ʃ], les productions des hommes sont mieux classifiées que celles des femmes.

Distinguer les productions de [ʃ] et [ç] avec des mesures acoustiques est possible pour les natifs même si la variabilité inter-locuteurs est importante. En revanche, même si la différence entre [ʃ] et [ç] des non-natifs est perceptible, les mesures acoustiques qui ont été choisies ne suffisent pas à juger d'une manière fiable si les non-natifs produisent [ʃ] ou [ç]. Les résultats suggèrent qu'une séparation selon le genre peut améliorer la classification globale.

Certaines autres analyses acoustiques sont prévues afin de distinguer [ʃ] et [ç] : traditionnellement la transition formantique est mesurée (Delattre *et al.*, 1962; Żygis & Padgett, 2010; Benamrane, 2013), un calcul de variabilité du centre de gravité au fil de la fricative ainsi que la mesure de l'amplitude dynamique (Shadle & Mair, 1996). Une combinaison de différentes mesures acoustiques (contextuelles et non-contextuelles) devrait permettre une meilleure classification des deux fricatives.

Remerciements

Ce travail a été soutenu par le programme Investissements d'Avenir - Labex EFL program (ANR-10-LABX-0083) et par l'Université Sorbonne Nouvelle et l'ED 268 par un contrat doctoral.

Références

- BENAMRANE A. (2013). *Acoustic study of fricatives in standard Arabic (Algerian speakers)*. Theses, Université de Strasbourg.
- BOERSMA P. & WEENINK D. (2016). *Praat : doing phonetics by computer [Computer program]*. Version 6.0.15, retrieved 23 March 2016.
- DELATTRE P. C., BERMAN A. & COOPER F. S. (1962). Formant transitions and loci as acoustic correlates of place of articulation in american fricatives. *Studia Linguistica*, **16**(1-2), 104–122.
- FLEGE J. E., TAKAGI N. & MANN V. (1995). Japanese adults can learn to produce english /i/ and /l/ accurately. *Language and Speech*, **38**(1), 25–55.
- GORDON M., BARTHMAIER P. & SANDS K. (2002). A cross-linguistic acoustic study of voiceless fricatives. *Journal of the International Phonetic Association*, **32**(02), 141–174.
- JOUVET D., BONNEAU A., TROUVAIN J., ZIMMERER F., LAPRIE Y. & MÖBIUS B. (2015). Analysis of phone confusion matrices in a manually annotated french-german learner corpus. In *Workshop on Speech and Language Technology in Education*.
- KEMP R. L. (2011). *The Perception of German Dorsal Fricatives by Native Speakers of English*. PhD thesis, Master thesis, University of Georgia. Cerca con Google.
- KISLER T., SCHIEL F. & SLOETJES H. (2012). Signal processing via web services : the use case webmaus. In *Digital Humanities Conference 2012*.
- KOHLER K. (1990). German. *Journal of the International Phonetic Association*, **20**(01), 48–50.
- SCHIEL F. (1999). Automatic phonetic transcription of non-prompted speech. In *Proc. Int. Cong. Phon. Sci*, p. 607–610.
- SHADLE C. H. & MAIR S. J. (1996). Quantifying spectral characteristics of fricatives. In *Spoken Language, 1996. ICSLP 96. Proceedings., Fourth International Conference on*, volume 3, p. 1521–1524 : IEEE.
- WOTTAWA J., ADDA-DECKER M. & ISEL F. (2015). Segmental difficulties in french learners of german. In *Proceedings of the International Symposium on Monolingual and Bilingual Speech 2015*.
- ZIMMERER F. & TROUVAIN J. (2015). Productions of /h/ in german : French vs. german speakers. In *Sixteenth Annual Conference of the International Speech Communication Association*.
- ŻYGIS M. & PADGETT J. (2010). A perceptual study of polish fricatives, and its implications for historical sound change. *Journal of Phonetics*, **38**(2), 207–226.