

# Deux stratégies articulatoires pour la réalisation du contraste acoustique des sibilantes /s/ et /ʃ/ en français

Martine Toda

Laboratoire de Phonétique et Phonologie, Université Paris III – CNRS UMR 7018  
19, rue des Bernardins, 75005 Paris, France  
martine\_toda@yahoo.fr  
<http://www.cavi.univ-paris3.fr/ilpga/ed/student/stmt/>

## ABSTRACT

This paper reports two articulatory strategies used in the realization of /s/ - /ʃ/ contrast in French from the observation of the MRI data of seven native speakers. These strategies are: ‘tongue position adjustment’ and ‘tongue shape adjustment’. By examining the articulation of the subjects whose frication noise was ‘deviant’, it appeared that they already used all the possibilities for compensation within their articulatory strategy. A better normalization of their frication noise would have required complex gestures (e.g. tongue backing *and* doming), which are presumably avoided by virtue of articulatory economy.

## 1. INTRODUCTION

Les fricatives sibilantes sourdes /s/ et /ʃ/ en français se différencient du point de vue articulatoire par leur lieu d’articulation, qui peut être décrit, respectivement, par les traits distinctifs [coronal ; + antérieur] et [coronal ; - antérieur]. Cependant, une grande part de variabilité inter-individuelle est observée quant à la réalisation dentale ou alvéolaire et apicale ou laminaire des consonnes coronales (Dart, [1]) Une importante variation inter-individuelle est également observée dans la fréquence du bruit de friction, (Tabain, [2]), ce qui pourrait résulter, en partie, de la différence d’articulation, mais aussi de la différence de morphologie du palais (Toda, [3]).

On peut alors se demander pourquoi une telle variation acoustique et articulatoire peut exister, puisqu’elle est propre à compromettre l’intelligibilité de la parole.

Une première hypothèse serait que, dû à une limitation articulatoire quelconque, les locuteurs « déviants » ne peuvent se rapprocher davantage de la cible acoustique idéale. Cette variation individuelle, toutefois, ne constituerait pas un handicap à l’intercompréhension : en effet, le bruit de friction n’est pas le seul indice acoustique employé pour identifier les sibilantes (Mann & Repp [4]). De plus, les auditeurs exercent une normalisation en fonction du locuteur (*ibid.*). Dans ce cas de figure, il suffirait donc que le contraste acoustique soit suffisant à l’intérieur des productions de chaque locuteur pour que les sibilantes soient correctement identifiées.

Une autre hypothèse serait que le contraste entre les deux sibilantes est suffisamment grand, et que la variation interlocuteurs n’occupe qu’une proportion mineure sur le plan perceptif. Cette hypothèse est motivée par l’aspect discontinu du contraste entre /s/ et /ʃ/ (Perkell *et al.*, [5]). En effet, dans un continuum articulatoire allant de /s/ à /ʃ/, le recul du point de constriction entraîne un changement brusque du volume de la cavité en avant de la constriction, par la création d’une cavité sublinguale au moment où la langue cesse d’être en contact avec les incisives inférieures. Si la fréquence de résonance des fricatives sibilantes est conditionnée par la taille de la cavité antérieure, la différence acoustique entre les deux sibilantes qui en résulte serait également de nature discontinue. Il est possible de penser que les auditeurs acquièrent une sensibilité catégorielle en conséquence. Ainsi, la variation individuelle serait ignorée au profit de la différence qui oppose /s/ et /ʃ/.

L’objectif de la présente étude est, premièrement, d’examiner quels sont les gestes articulatoires mis en œuvre dans la réalisation du contraste entre /s/ et /ʃ/. En second lieu, en mettant en rapport les données acoustiques et articulatoires de sept locuteurs, nous tenterons de déterminer d’où vient la variation acoustique et dans quelle mesure cette variation est simplement négligée, ou inévitable.

## 2. MÉTHODE

Les données articulatoires et acoustiques ont été obtenues à ATR, Kyoto, Japon. Sept chercheurs et stagiaires français (six hommes et une femme), locuteurs natifs de français et âgés de 21 à 24 ans ont participé à l’expérience.

### 2.1. Données articulatoires

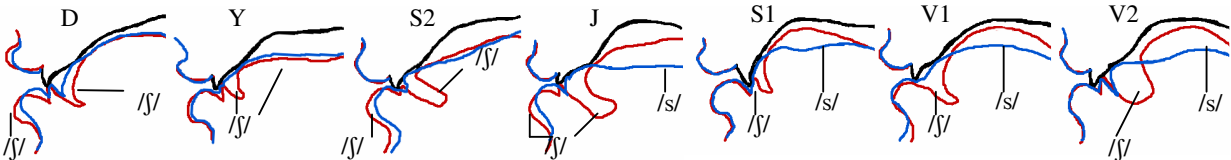
La morphologie du conduit vocal a été obtenue grâce à l’imagerie par résonance magnétique (IRM). Les sujets étaient invités à produire les fricatives cibles de manière soutenue sans reprise de souffle pendant les séquences d’acquisition qui duraient environ 23 secondes. Les fricatives sibilantes /s/ et /ʃ/ étaient présentées à l’intérieur de mots. Les sujets étaient invités à produire ces sons « exactement comme lorsqu’ils sont contenus dans ces mots ». Trois contextes différents étaient proposés pour /s/

et /ʃ/, ce qui permettait de contrôler la pertinence des productions. Seules les données pour les contextes « Assam » et « achat » seront analysées. De plus, une séquence d'acquisition spéciale a permis d'obtenir la forme des dents par contraste avec les tissus mous environnants. Par la suite, les données des dents ont été insérées dans les données des fricatives à l'aide d'un logiciel de traitement de données volumétriques.

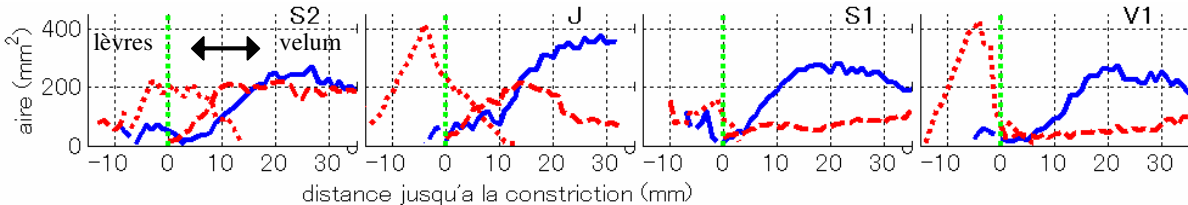
La description articulatoire des sibilantes est basée sur l'observation du plan médio sagittal. De plus, l'aire du conduit vocal sur le plan coronal depuis les lèvres jusqu'à la région vélaire a été mesurée tous les millimètres pour donner lieu à une fonction d'aire.

## 2.2. Données acoustiques

La séance d'enregistrement avait lieu avant l'acquisition des données IRM et permettait au sujet de s'entraîner, de même qu'à l'expérimentateur de contrôler les productions soutenues en vue de la séance IRM. Dans la présente étude, nous considérerons les fricatives sibilantes contenues dans les mots « Assam » et « achat » produits à l'intérieur d'un énoncé. La portion centrale des fricatives, visiblement stable sur le spectrogramme, a été utilisée pour calculer le spectre moyen du bruit de friction (10 fenêtres de 8 millisecondes s'échelonnant sur une portion de 62 millisecondes). Chaque spectre est caractérisé par sa fréquence de coupure, estimée visuellement sur le spectre.



**Figure 1 :** contours sagittaux superposés (bleu : /s/ ; rouge : /ʃ/). Les quatre locuteurs de gauche présentent une stratégie « recul de la langue », tandis que les trois locuteurs de droite présentent une stratégie « déformation de la langue ».



**Figure 2 :** fonction d'aire de quatre locuteurs (ligne pleine : /s/ ; pointillée : /ʃ/). Les fonctions d'aire sont alignées à la constriction maximale. La cavité antérieure de /ʃ/, comprenant une cavité sublinguale, est représentée en pointillés fins.

## 3.2. Aspects acoustiques

Aucun indice acoustique ne varie systématiquement avec les stratégies « recul » ou « déformation ».

### Transitions formantiques

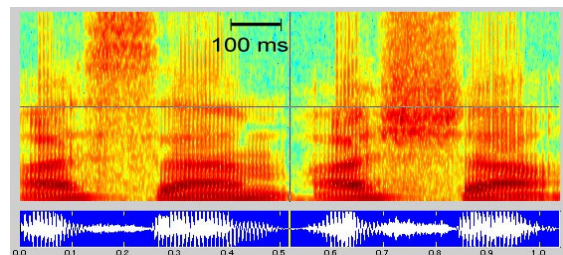
Les transitions formantiques (Figure 3) F1 et F2 présentent globalement les mêmes caractéristiques entre tous les locuteurs. F3 présente des schémas différents selon la consonne et le locuteur.

## 3. RÉSULTATS

### 3.1. Deux stratégies articulatoires

L'observation des profils sagittaux, ainsi que des fonctions d'aire, suggère l'existence de deux stratégies articulatoires. Quatre locuteurs présentent une stratégie de « recul de la langue » entre /s/ et /ʃ/ (Figure 1 ; D, Y, S2 et J). La forme de leur langue est quasi inchangée entre les deux fricatives et la partie qui forme la constriction tend à être la même pour /s/ et /ʃ/ (predorsum, lamina ou apex selon le locuteur). Trois de ces locuteurs (D, S2 et J) présentent clairement une protrusion des lèvres dans /ʃ/ par rapport à /s/.

Les trois autres locuteurs (Figure 1 ; S1, V1 et V2) présentent une stratégie de « déformation de la langue » entre /s/ et /ʃ/. La partie de la langue qui forme la constriction n'est pas la même entre /s/ et /ʃ/ (apex vs. lamina ; lamina vs. predorsum, etc.). Sur la fonction d'aire (Figure 2 ; S1 et V1), on peut remarquer que /ʃ/ est palatalisé (le conduit vocal reste étroit en arrière de la constriction) en comparaison à /s/, et à la différence des locuteurs de la première stratégie (Figure 2 ; S2 et J). Contrairement à la description habituelle du /ʃ/ français, aucun des locuteurs de cette deuxième stratégie ne présente de protrusion labiale.

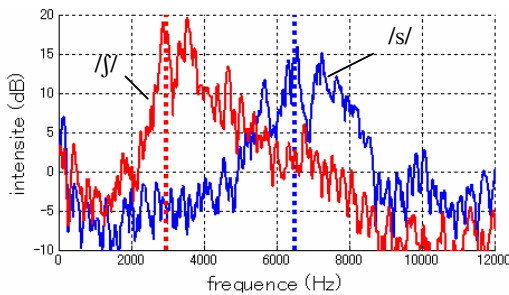


**Figure 3 :** spectrogramme (jusqu'à 8000 Hz) des mots « assam » et « achat », locuteur V1.

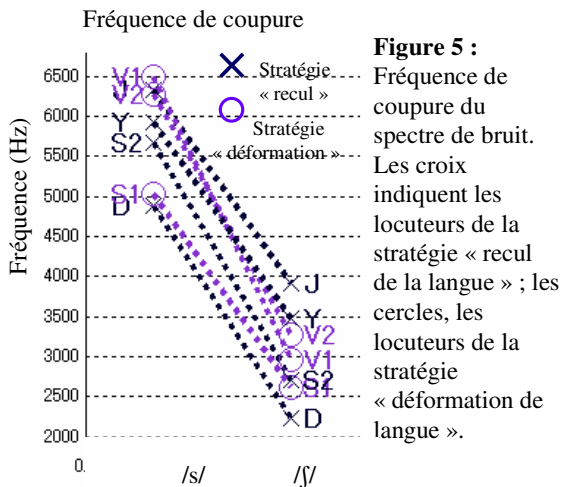
Pour /s/, F1 est descendant vers la fricative, F2 montant avec une cible allant de 1400 à 1800 Hz selon le locuteur, et F3 constant autour de 2700 Hz, sauf pour le locuteur D où il est montant pour atteindre 2600 Hz. Pour /ʃ/, F1 est descendant, F2 montant avec une cible allant de 1600 à 2000 Hz, et F3 constant pour les locuteurs S2 et V2 (aux alentours de 2500 Hz), montant pour les locuteurs J, S1, V1 et Y (cible vers 2900 Hz), et enfin, descendant pour le locuteur D (cible vers 2300 Hz).

### Bruit de friction

La fréquence de coupure du bruit de friction (Figure 4) est, quant à elle, très variable selon le locuteur (Figure 5).



**Figure 4 :** spectre moyen et fréquence de coupure du bruit de friction pour /s/ (bleu) et /ʃ/ (rouge), loc. V1.



**Figure 5 :** Fréquence de coupure du spectre de bruit. Les croix indiquent les locuteurs de la stratégie « recul de la langue » ; les cercles, les locuteurs de la stratégie « déformation de la langue ».

Le formant de la fréquence de coupure correspond au F3 (D, S2 et S1) ou au F4 (J, Y, V1 et V2) de la voyelle /a/ pour /ʃ/, et à des formants égal ou supérieur à F5 pour /s/. En ce qui concerne /ʃ/, cela suggère que la cavité responsable de la résonance principale du bruit de friction n'est pas la même selon les locuteurs. Pour certains, elle pourrait provenir du canal palatal, et pour d'autres, de la cavité antérieure comprenant la cavité sublinguale. De plus, on peut noter qu'il n'y a pas de correspondance systématique entre le formant excité par la source de bruit et la direction de la transition F3. Les valeurs les plus « déviantes » de la

fréquence de coupure concerne le /s/ des locuteurs D (-1,44  $\sigma$ ) et S1 (-1,20  $\sigma$ ) et le /ʃ/ des locuteurs J (+1,55  $\sigma$ ) et D (-1,41  $\sigma$ ). La différence entre le /s/ le plus « grave » (D) et le /ʃ/ le plus « aigu » (J) est d'à peine 1000 Hz, ce qui est peu par rapport à la différence à l'intérieur de chaque catégorie, qui avoisine les 1600 – 1700 Hz. Néanmoins, il existe à l'intérieur de tous les locuteurs, y compris « déviant », une distance importante entre /s/ et /ʃ/, qui est de l'ordre de 2500 Hz.

## 4. DISCUSSION

Le mouvement du F3 observé sur le spectrogramme pourrait avoir comme origine deux mécanismes distincts. Premièrement, en supposant, d'après Fant [6], que le F3 de la voyelle [a] correspond à une résonance de la cavité postérieure, le mouvement du F3 pourrait indiquer le changement de longueur de cette cavité. Cependant, un deuxième mécanisme pourrait aussi être responsable de ce mouvement. En effet, pour /ʃ/, la cavité sublinguale pourrait être considérée comme une cavité branchante. Une telle cavité introduit un pôle et un zéro libres, susceptibles de perturber la structure formantique des voyelles adjacentes. Sa taille peut raisonnablement donner lieu à cette structure dans la région du F3 de la voyelle, pour occasionner un changement d'affiliation de cavité du F3 et un mouvement apparent. Par conséquent, il est difficile d'interpréter le mouvement du F3, surtout en l'absence de données dynamiques.

Quant au bruit de friction, pourquoi les locuteurs ne pourraient-ils pas « faire mieux » pour estomper cette variation ? Celle-ci est d'autant plus intrigante que les mécanismes de compensation mis en œuvre pour les voyelles sont bien connus. Si les locuteurs n'effectuent pas de compensation, serait-ce parce qu'ils n'en ont pas les moyens ?

En ce qui concerne le locuteur S1, on observe que la cavité orale antérieure du /s/ est très réduite (voire inexistante). Nous supposons qu'une plus forte déformation de la langue n'aurait pas d'effet sur la taille de cette cavité. Pour augmenter la fréquence de résonance de la cavité antérieure, il lui faudrait raccourcir sa cavité labiale, ce qui n'est pas observé ici. En effet, un tel geste reviendrait à ajouter une dimension articulaire supplémentaire dans la palette des traits disponibles (cf. Clements, [7]).

Quant au /ʃ/ du locuteur J, on observe une articulation laminaire post-alvéolaire avec protrusion labiale. Pour abaisser davantage la résonance de la cavité antérieure, le geste labial étant déjà employé, la seule possibilité serait de reculer encore le lieu d'articulation. Un tel geste ne semble pas impossible à réaliser étant donné l'articulation des locuteurs V1 et V2. Cependant, pour parvenir à cette configuration, ces locuteurs bombent le

dos de leur langue. À l'intérieur de la stratégie « recul de la langue », le locuteur J aurait donc épuisé toutes ses cartes.

Le locuteur D présente également une stratégie de « recul ». Pour diminuer la taille de la cavité antérieure dans /s/, une possibilité serait d'avancer la langue. Or, elle semblerait déjà avoir atteint la limite antérieure étant donnée sa forme bombée. Une déformation de la langue serait donc requise pour l'avancer davantage.

L'examen de ces cas particuliers nous pousse à penser que les locuteurs tendent à rejeter les articulations complexes. D'après ce comportement, nous pouvons supposer que la différence minimale entre les /s/ les plus graves et les /ʃ/ les plus aigus est malgré tout suffisamment grande de sorte qu'il n'y a pas d'impératif à normaliser les propriétés du bruit de friction en fournissant des efforts supplémentaires.

Enfin, nous n'avons pas pu déterminer pourquoi les locuteurs adoptent l'une ou l'autre des stratégies articulatoires. On peut songer à trois principales causes : la recherche d'une structure résonnante contribuant au contraste phonémique ; les contraintes liées à la création du bruit de friction strident ; et la coarticulation. Pour éclaircir l'influence du contexte phonétique, des études dynamiques sont indispensables. En ce qui concerne la source, on sait que la distance et l'angle de la constriction par rapport aux dents ou à la paroi qui sert d'obstacle sont primordiaux à la création du bruit strident qui caractérise les sibilantes (Pastel [8]). Cette source se situerait près des dents pour /s/ (Narayanan & Alwan, [9]; Shadle, [10]) et également près des dents (Shadle, [10]) pour /ʃ/ avec éventuellement une deuxième source autour de la constriction [9]. Toutefois, ces études ne comportent qu'un nombre restreint de modèles. Selon la morphologie buccale des locuteurs, des gestes différents pourraient être requis pour remplir les conditions aérodynamiques nécessaires. Il a par ailleurs été montré qu'un changement mineur dans la morphologie de la cavité antérieure pouvait induire une différence importante de la source du bruit (Shadle, 10). Le choix de la stratégie « recul » ou « déformation » pourrait donc servir, de manière non négligeable, à manipuler la source de bruit, au même titre que la structure résonnante.

## 5. CONCLUSION

Cette étude avait comme objectif de mettre en évidence la façon dont est réalisé le contraste entre /s/ et /ʃ/ en français, et d'y chercher les causes de la variation acoustique. Deux stratégies articulatoires permettant de réaliser ce contraste ont été observées d'après les données IRM de sept locuteurs. Ces stratégies font appel à un seul geste de la langue à la fois (recul ou déformation), accompagné ou non d'un geste labial (ne comprenant qu'une seule modalité : la protrusion). Les

locuteurs dont le bruit de friction est déviant ne pourraient pas « faire mieux », car ils semblent avoir épuisé toutes les possibilités offertes par leur stratégie articulatoire. En effet, ils évitent de faire appel à une dimension articulatoire supplémentaire. Pourtant, on doute que les locuteurs en soient physiquement incapables, car il existe des langues dans le monde avec un inventaire plus riche de sibilantes, dont les traits distinctifs comprennent à la fois le lieu d'articulation et la forme de la langue ou des lèvres. Il serait intéressant d'étudier comment les locuteurs réalisent ces contrastes dans ces langues (ex. mandarin, polonais, russe).

**Remerciements** Nous remercions vivement tous nos locuteurs, ainsi que l'équipe du Brain Activity Image Centre d'ATR pour l'acquisition des données IRM.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] S. N. Dart. Comparing French and English coronal consonant articulation. In *Journal of Phonetics*, volume 26, pages 71-94, 1998.
- [2] M. Tabain. Variability in fricative production and spectra : implications for the hyper- and hypo- and quantal theories of speech production. In *Language and Speech*, Volume 44 (1), pages 57-94, 1998.
- [3] M. Toda. Effect of palate shape on spectral characteristics of coronal fricatives. Communication orale, « Conference on turbulences », 13-14 octobre 2005, ZAS, Berlin. <http://www.zas.gwz-berlin.de>.
- [4] V. A. Mann & B. H. Repp, Influence of vocalic context on perception of the [s]-[ʃ] distinction. In *Perception & Psychophysics*, volume 28 (3), pages 213-228, 1980.
- [5] J. S. Perkell, S. E. Boyce & K. N. Stevens. Articulatory and acoustic correlates of the [s - ʃ] distinction. In *Speech Communication Papers*, 97th Meeting of the Acoustical Society of America, J.J. Wolf and D.H. Klatt (eds.), pages 109-113, 1979.
- [6] G. Fant. Formants and cavities. In *Proc. 5<sup>th</sup> ICPhS*, Münster, pages 120-141, 1964. (Publié par S. Karger, Basel/New York, 1965.)
- [7] G. N. Clements. Testing feature economy. In *Proc. 15<sup>th</sup> ICPhS*, Barcelona, pages 2785-2788, 2003.
- [8] L. M. P. Pastel. *Turbulent noise sources in vocal tract models*. M. S. dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 1987.
- [9] S. Narayanan & A. Alwan. Noise source models for fricative consonants. In *IEEE transactions on speech and audio processing*, volume 8, numéro 2, pages 328-344, 2000.
- [10] C. Shadle. The effect of geometry on source mechanisms of fricative consonants. *Journal of Phonetics*, volume 19, pages 409-424, 1991.