

TENDANCES UNIVERSELLES ET STABILITÉ DES SYSTÈMES VOCALIQUES

N. Vallée, L.J. Boë et J.L. Schwartz

Institut de la Communication Parlée, URA CNRS n° 368
INPG/ENSERG - Université STENDHAL,
Domaine Universitaire, BP 25X, 38040 Grenoble cedex, France

ABSTRACT

This paper deals with a study of the structure of vowel systems in two respects: ① Our observations of certain aspects of vowel systems using the entire database of 317 language descriptions [4] lead us to confirm or refine certain tendencies and regularities in vowel systems; ② We have used a predictive model [7] of the 3 dimensional $F_1/F_2/F_3$ space to test our hypothesis that if a system is more frequent in the inventory, it is an acoustically "stable" system. This research extends Lindblom's work about the predictive models of the organisation of the vowel space and the explanations of language universals.

INTRODUCTION

On dispose aujourd'hui d'inventaires phonologiques des langues du monde relativement importants. Ces matériaux offrent la possibilité de tester de nouvelles typologies et propositions de tendances de développement des systèmes vocaliques, nourrissant ainsi la discussion sur les modèles de prédiction dans un espace de représentation. Ces modèles tentent d'expliquer l'organisation des unités à l'intérieur des systèmes, et par la même, la présence d'universaux dans les langues. C'est pour les systèmes vocaliques que ces modèles ont été le plus développés.

Dans un premier temps, nous présentons les points essentiels qui ressortent de notre typologie des systèmes vocaliques [8], établie à partir de la base de données UPSID (UCLA Phonological Segment Inventory Database) qui réunit la description phonologique de 317 langues du monde [4]. Nous avons pris la totalité de la base en excluant toute classification a priori pour reposter ou confirmer certaines tendances universelles dans la fréquence d'occurrences des systèmes et des voyelles ainsi que dans l'organisation

des 220 types de systèmes vocaliques relevés dans l'ensemble de la base.

La deuxième étape a consisté à tester, à partir de cette typologie, la "stabilité acoustique" - dans un sens qui sera précisé - des systèmes vocaliques les plus fréquents, avec un modèle de prédiction dans l'espace 3-D $F_1/F_2/F_3$ [7]. Ce modèle intègre le principe de dispersion maximale de Liljencrants & Lindblom (1972) [2] (L&L) et le complète par un critère de focalisation introduit par le biais de plans attracteurs ($F_1=F_2$, $F_2=F_3$, $F_3=F_4$), ainsi qu'une pondération du second formant effectif F_2 .

1. STRUCTURE DES SYSTÈMES VOCALIQUES DE LANGUES NATURELLES

1.1. Taille et occupation de l'espace

Les systèmes décrits dans UPSID possèdent de 3 à 24 voyelles. Le classement de la base nous a permis d'en extraire 220 types. Nous avons relevé dans l'inventaire une très nette dominance des systèmes à 5 voyelles (23% des langues). Les systèmes qui possèdent de 3 à 10 voyelles représentent 80% de l'échantillon et sont donc très largement majoritaires. Les systèmes les plus fréquents possèdent une large dispersion dans l'espace articulatoire traditionnel décrit par les axes d'aperture et de lieu d'articulation. Ils sont composés de voyelles que l'on retrouve quelle que soit la taille du système.

Nous avons pu mettre en évidence une différence très nette de tendance entre les types : 9 représente le maximum de timbres vocaliques distincts que peut présenter un système. En effet, ceux qui ont un nombre élevé de voyelles ne développent pas de nouveaux timbres, mais ajoutent une complexité articulatoire à ces segments de base, en leur additionnant d'autres dimensions telles

que la longueur, la nasalité, la pharyngalité — ainsi : /a/, /a¹/, /aⁿ/.

En limitant leur nombre de timbres vocaliques, on peut dire que les langues naturelles fonctionnent sur un principe de contraste pour un nombre d'unités déterminées. Cependant, il s'agit d'un contraste "suffisant" (et non pas maximal, cf [4] p.16) : l'apparition de nouvelles dimensions s'effectue surtout à partir de 10 voyelles, quand l'espace des timbres est donc trop encombré.

1.2. Organisation de l'espace

Nous allons décrire par 10 règles comment les timbres s'organisent en série (sur les traits [antérieur], [central], [postérieur] / [arrondi], [non arrondi]).

1.2.1. Organisation horizontale / verticale

① les degrés d'aperture sont plus nombreux que les distinctions antéro-postérieures — la tendance générale dans les systèmes vocaliques est de 3 à 5 degrés de distinction par l'aperture et de 3 distinctions sur l'axe antéro-postérieur, et ceci quelle que soit la taille des systèmes. On peut même affirmer en général que :

①' le nombre de degrés d'aperture est supérieur ou égal au nombre de séries — avec cependant le contre-exemple notable du système /i a u/.

1.2.2. Comparaison des séries

• Dans un système donné :

② le nombre de voyelles périphériques est supérieur au nombre de voyelles intérieures — 100% des langues possèdent des voyelles périphériques et 44% des voyelles intérieures.

③ le nombre de voyelles antérieures non arrondies /i, e, 'e', ε, æ, ə/ est plus grand ou égal au nombre de voyelles postérieures arrondies /o, ɔ, ɔ', o, ω, u/ (91% des cas).

• Dans les langues :

④ les voyelles périphériques : /i, e, 'e', ε, æ, a, ɔ, 'o, o, ω, u/ sont plus fréquentes que les voyelles intérieures (avec /i, a, u/ proches des 100% d'occurrences).

⑤ les centrales non arrondies /ɛ, i, ə, 'ə, ə, ʊ/ sont plus fréquentes que les antérieures arrondies /y, ʏ, ø, 'ø, œ/.

⑥ les postérieures non arrondies /u, ʉ, ʁ, ʁ', ʌ/ sont plus fréquentes que les centrales arrondies /ɨ, ʏ, ø, 'ø/.

⑦ les centrales non arrondies ont une occurrence plus forte que les centrales arrondies.

1.2.3. Organisation dans les séries

⑧ les voyelles antérieures arrondies apparaissent :

- par série — les séries d'antérieures arrondies de 2 phonèmes apparaissent dans les systèmes ayant au moins 7 voyelles, celles de 3 ou 4 phonèmes apparaissent dans les systèmes à 16 et 19 voyelles,

- toujours avec les voyelles antérieures non arrondies de même aperture,

- presque toujours avec les voyelles postérieures arrondies de même aperture,

- selon l'ordre de fréquence décroissante : /y/ > /ø/ > /œ/ > /ɨ/ > /ʏ/.

⑨ les voyelles postérieures non arrondies figurent :

- généralement seules dans leur catégorie — les séries attestées contiennent au plus 3 voyelles,

- selon l'ordre de fréquence suivant : /u/ > /ʉ/ > /ʁ/ > /ʁ'/ > /ʌ/.

- souvent sans la voyelle postérieure périphérique de même aperture (ce qui justifie l'essentiel des cas de disparition de /u/ remplacé par /ʉ/).

⑩ les voyelles centrales s'organisent :

- plus régulièrement sur l'axe haut/bas que sur l'opposition arrondi/non arrondi,

- jamais en série sans la présence d'une voyelle centrale haute

- et dans ce cas avec une voyelle périphérique haute.

2. ÉTUDE DE LA STABILITÉ ACOUSTIQUE DES SYSTÈMES VOCALIQUES

2.1. Utilisation d'un modèle de prédiction

Schwartz & al. [7] se proposent d'améliorer 2 résultats obtenus par L&L [2] contraires aux données de la base UPSID :

- la prolifération des voyelles hautes entre [i] et [u], peu compatible avec les règles ① et ①' ;

- l'impossibilité de prédire une série antérieure arrondie sans une série postérieure non arrondie ou centrale "équilibrante" au sens de la théorie de la dispersion.

Dans un espace 3-D $F_1/F_2/F_3$, le modèle de Schwartz & al. reprend de L&L la minimisation des distances intervoyelles comme fonction de l'énergie des systèmes :

$$E_0 = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \frac{1}{d_{ij}^2} \rightarrow \text{minimisée}$$

où d_{ij} est la distance formantique pondérée entre 2 voyelles i et j :

$$d_{ij} = \left[(F_{1i} - F_{1j})^2 + \lambda (F_{2i} - F_{2j})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

λ est le coefficient pondérateur des formants élevés ($\lambda \leq 1$). Un poids plus important de F_1 dans le calcul des

distances améliore la prédiction des voyelles périphériques en diminuant le nombre de voyelles hautes.

Le calcul de E_0 repose donc sur un critère systémique, les voyelles devant être les plus éloignées au sens d'une distance pondérant F_1 par rapport à F_2 . Mais ce critère ne permet pas de prédire la structure de voyelles hautes i, y, u (attestée dès 7 voyelles).

Schwartz & al. ont donc introduit un deuxième critère — celui-ci extra-système — qui favorise pour chaque voyelle les rapprochements $F_1 F_2, F_2 F_3, F_3 F_4$ et diminue l'énergie du système. C'est le critère de focalisation, justifié d'un point de vue perceptif : les voyelles focales sont préférées perceptivement [6].

$$E = E_0 + \alpha(E_{12} + E_{23} + E_{34})$$

$$E_{12} = \sum_i \frac{1}{(F_{2i} - F_{1i})^2}$$

$$E_{23} = \sum_i \frac{1}{(F_{3i} - F_{2i})^2}$$

$$E_{34} = \sum_i \frac{1}{(F_{4i} - F_{3i})^2}$$

α est appelé *coefficient des plans attracteurs*. D'un point de vue analogique les voyelles s'éloignent les unes des autres tout en étant attirées par des plans attracteurs : $F_1 = F_2, F_2 = F_3, F_3 = F_4$.

Pour utiliser le modèle il nous a fallu disposer :

- d'un espace maximal 3-D ;
- de valeurs formantiques F_i ($i=1$ à 3), F_4 étant fixé à 3350 Hz, pour les 37 voyelles de la base UPSID (cf. Fig. 1).

Ces points ont été obtenus grâce à une série de travaux précédents fondés sur le modèle articulatoire de Maeda [5] et grâce à la confrontation des données formantiques de 15 études, issues de travaux sur des modèles ou sur des langues naturelles.

2.2. Hypothèses sur la stabilité

Nous ferons l'hypothèse qu'un système fréquent dans les langues du monde est un système à structure acoustiquement stable (énergie localement minimale) : si on le soumet au modèle de prédiction il doit donc conserver sa structure. La stabilité d'un système est ainsi appréciée à partir de son énergie qui dépend de 2 coefficients :

- ① λ coefficient pondérateur des formants tel que $0 < \lambda \leq 1$ (si $\lambda=1$ on a une distance euclidienne classique) ;
- ② α coefficient des plans attracteurs tel

que $0 \leq \alpha \leq 1$.

Notre étude a eu pour but de trouver un couple de valeurs (λ, α) qui mette en relation la validité des critères du modèle et la stabilité attestée des systèmes les plus fréquents.

2.3. Systèmes sélectionnés pour l'étude.

A partir de notre typologie [8], un ensemble de 25 systèmes de 3 à 9 voyelles sélectionnés comme les plus fréquents ont été testés pour 3 valeurs de λ : [0,25, 0,5, 1] et 5 valeurs de α : [0, 0,25, 0,5, 0,75, 1], soit un total de 375 tests. Nous avons procédé en sorte qu'il y ait au moins deux systèmes concurrents (ou plus) par nombre de voyelles. La seule comparaison significative possible des énergies est entre les systèmes de même taille et pour des couples (λ, α) identiques.

2.4. Résultats

Notre modèle prédit la stabilité de 64% des systèmes les plus fréquents (qui représentent, après regroupement des systèmes relativement proches, 60% de la base UPSID).

Les cas non prédits stables par le modèle sont ceux qui possèdent au moins 4 voyelles sur un des bords de la périphérie et qui ne sont pas équi-réparties ou ceux qui possèdent une ou plusieurs voyelles intérieures sans posséder de voyelle centrale haute (soit 36% des systèmes testés et approximativement 20% de la base UPSID). Une voyelle centrale telle que / Λ / est plus facilement prédite qu'une voyelle comme / ω / : pour de petites valeurs de λ , / ω / se déplace vers les périphériques antérieures et pour des valeurs de λ grandes, vers les voyelles centrales hautes.

La poursuite des tests avec des valeurs de $\lambda < 0,25$ et des valeurs de coefficients différents pour chaque plan attracteur ($\alpha_{12}, \alpha_{23}, \alpha_{34}$) pourrait améliorer les résultats recherchés.

Nous n'avons pas mis en évidence un seul couple (λ, α) comme nous l'avions souhaité pour l'ajustement du modèle, mais 2 couples de coefficients pour lesquels les résultats sont les plus satisfaisants : (0,25, 0,5) et (0,5, 0,25). Les tests ont mis en évidence que pour $\lambda > 0,5$, la prédiction des systèmes "tout périphérique" est impossible jusqu'à 9 voyelles et que le facteur α est nécessaire pour la prédiction de / y / : pour α nul (modèle L&L), / y / se déplace vers la position formantique de / i / ou / u /.

CONCLUSION

Le modèle de prédiction a permis de simuler la plupart des systèmes sélectionnés, améliorant les résultats de L&L [2] et Lindblom [3] à propos des voyelles centrales hautes et de la prédiction de / y /, stabilisé par notre critère de focalisation $F_2 F_3$ [1] (cf. Fig. 2). A part le problème des voyelles trop nombreuses et celui de / ω / (qui est aussi, on le sait bien, un problème de description phonologique), le modèle prédit des systèmes le plus souvent en accord avec les grandes tendances de développement des systèmes vocaliques. Même s'il ressort de notre étude que tous nos systèmes testés ne sont pas stables, la notion d'énergie basse pour traduire un des critères d'organisation des voyelles dans les systèmes reste un bon critère. Avec ces résultats, notre recherche améliore les prédictions et étend les travaux de Lindblom & Liljencrants [2], «to derive linguistic form as a consequence of various substance-based principles pertaining to the use of spoken language and its biological, sociological, and communicative aspects.»

RÉFÉRENCES

- [1] BOË L.J. & ABRY C. (1986) Nomogrammes et systèmes vocaliques. *XV^e journées d'études sur la parole*, Aix-en-Provence, 303-306.
- [2] LILJENCRA NTS J. & LINDBLOM B. (1972) Numerical Simulation of Vowel Quality Systems: The Role of Perceptual Contrast. *Language* 48, 839-862.
- [3] LINDBLOM B. (1986) Phonetic Universals in Vowel Systems. *Experimental Phonology*, Ohala J.J. (Ed), Academic Press, Orlando, Florida, 13-44.
- [4] MADDIESON I. (1986) The Size and Structure of Phonological Inventories: Analysis of UPSID. *Experimental Phonology*, Ohala J.J. (Ed), Academic Press, New York, 105-123.
- [5] MAEDA S. (1979) An Articulatory Model of the Tongue Based on a Statistical Analysis. *J. Acoust. Soc. Am.* 65, Vol. S1, S22.
- [6] SCHWARTZ J.L. (1987) A propos des notions de forme et de stabilité dans la perception des voyelles. *Bulletin du Laboratoire de la Communication Parlée*, Vol. 1A, 159-190.
- [7] SCHWARTZ J.L. BOË L.J. PERRIER P. GUÉRIN B. & ESCUDIER P. (1989) Perceptual Contrast and Stability in Vowel Systems: A 3-D Simulation Study. *Eurospeech 89*, Paris, Vol. 1/2, 63-66.

[8] VALLÉE N. BOË L.J. & SCHWARTZ J.L. (1990) Systèmes vocaliques : typologies et tendances universelles. *XVIII^e journées d'études sur la parole*, Montréal, 32-36.

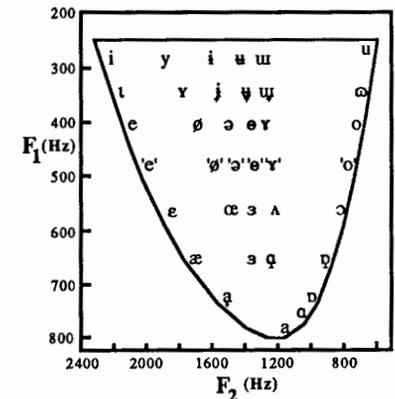


Figure 1. Répartition dans l'espace maximal 2-D F_1, F_2 des 37 voyelles d'UPSID.

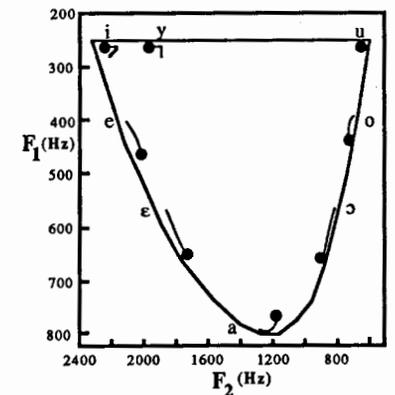


Figure 2. Exemple de simulation permettant de tester la stabilité d'un système possédant / y /. Ici $\lambda=0,5$ et $\alpha=0,25$.

Ce type de système pourrait fournir sur application d'un "principe de série" (cf. règle ©) la base d'un système à voyelles antérieures non arrondies, antérieures arrondies et postérieures arrondies, attesté dans UPSID.