

# Analyse formantique des voyelles orales du français en contexte isolé : à la recherche d'une référence pour les apprenants de FLE

Georgeton Laurianne<sup>1</sup> Paillereau Nikola<sup>1</sup> Landron Simon<sup>1,2</sup> Gao Jiayin<sup>1</sup> Kamiyama Takeki<sup>1,3</sup>

(1) Laboratoire de Phonétique et Phonologie (UMR 7018), CNRS / Université Sorbonne-Nouvelle, 75005 Paris

(2) PLIDAM, INALCO, 75013 Paris

(3) Linguistique Anglaise, Psycholinguistique (EA1569), Université Paris 8, 93526 Saint-Denis  
{laurianne.georgeton, takeki.kamiyama}@univ-paris3.fr,  
nikola.paillereau@mac.com, simon.landron@etud.sorbonne-nouvelle.fr  
jiayin.gao@gmail.com

## RESUME

---

Cette étude s'intéresse à l'analyse formantique des 10 voyelles orales du français : /i e ε a ɔ o u y ø œ/, prononcées en contexte isolé par 40 locuteurs natifs dans une phrase cadre. Le but de ce travail est de mettre en valeur les caractéristiques acoustiques de ces voyelles françaises, afin d'élaborer une référence qui sera utilisée par la suite dans des études contrastives de productions d'apprenants du Français Langue Etrangère (FLE). Les résultats montrent (1) une stabilité formantique de ces voyelles ; (2) les moyennes formantiques relevées sont plus extrêmes que celles d'études antérieures, et (3) occupent un espace acoustique plus large. Les faibles écarts entre les formants F1-F2 (voyelles postérieures), F2-F3 (/y/) et F3-F4 (/i/) pour les voyelles françaises focales semblent une caractéristique définitoire de ces voyelles.

## ABSTRACT

---

### Formant analysis of French oral vowels in isolation: in search of a reference for learners of French as a Foreign Language

This study focuses on the formant analysis of the 10 oral vowels in French: /i e ε a ɔ o u y ø œ/, pronounced in isolation but placed in a carrier sentence by 40 female native speakers. The aim of this work is to highlight the acoustic characteristics of these French vowels in order to develop a reference that will be used later in contrastive studies of production of learners of French as a Foreign Language (FLE). The results show (1) formantic stability of these vowels, (2) that the mean formants are more extreme than those of previous studies, and (3) the formants occupy a larger acoustic space. Small distances between the formants F1-F2 (back vowels), F2-F3 (/y/) and F3-F4 (/i/) for French focal vowels seem a defining characteristic of these vowels.

---

MOTS-CLES : phonétique acoustique, français, voyelles orales, formants, voyelles focales

KEYWORDS : acoustic phonetics, French, oral vowels, formants, focal vowels

---

## 1 Introduction

Il est connu que les réalisations des voyelles sont variables et dépendent d'un grand nombre de facteurs, entre autres : le locuteur, le débit, la position par rapport aux

frontières prosodiques, l'attitude du locuteur, son état émotif, etc. Pour l'apprentissage du français, il nous semble indispensable de disposer de données de référence sur des voyelles isolées, qui pourront être comparées aux réalisations d'apprenants de FLE, et servir de repères pour la comparaison entre les locuteurs natifs.

Nous nous sommes intéressés pour cela à la réalisation des voyelles orales en contexte isolé. Les français parisiens n'ont aucun problème pour produire les voyelles isolées en français, sauf pour les voyelles mi-ouvertes /ɔ œ/ car elles n'apparaissent jamais en position finale de mot.

À notre connaissance, de telles données en contexte isolé, ne sont pas disponibles à grande échelle. Les valeurs de « Calliope » (Tubach, 1989) présentent des données de voyelles prononcées dans le contexte /pV<sub>1</sub>/ où V<sub>1</sub> est /e o u y ø/ et /pV<sub>2</sub>R/ où /i ε a ɔ œ/. Or, nous savons que la présence d'un /R/ en coda aura tendance à allonger la voyelle (Léon, 2000, entre autres) et à augmenter la valeur du F1 et baisser la valeur du F2 (F2 dans la plupart des cas, mais F2, F3 pour le /i/) (Vaissière, 2007). Les auteurs eux-mêmes admettent que « ces valeurs ne peuvent en aucun cas être considérées comme la norme du français ». Gendrot et Adda-Decker (2005) présentent les valeurs formantiques de voyelles d'un corpus radiophonique, mêlant ainsi les contextes consonantiques, prosodiques en parole continue. Ce manque de données de référence portant sur les voyelles isolées semble justifier notre travail.

Le corpus (Landron et al., 2011) est issu d'un travail commun de jeunes docteurs/doctorants (Groupe Didactique) du Laboratoire de Phonétique et Phonologie (LPP) de l'Université Paris 3, Sorbonne Nouvelle, et dont le point commun est de s'intéresser à l'enseignement et l'apprentissage de la prononciation du français. A l'heure actuelle, nous disposons de 40 locutrices natives<sup>1</sup> de 10 apprenants japonophones, 10 tchécoslovaques, 10 apprenants du mandarin de Taiwan, 10 apprenants bosniens et autres (apprenants lusophone du Brésil, anglophones britanniques, sinophones shanghaiens, arabes de Jordanie). Ces enregistrements, réalisés à partir d'un même corpus, dans des conditions similaires, nous permettront, entre autres, de procéder à des comparaisons entre apprenants de FLE et natifs et à la remédiation motivée des écarts de prononciation.

Pour cette étude, nous calculons les formants des voyelles orales du français prononcées en contexte isolé par 40 locutrices natives du français dont l'accent ne peut être défini comme venant d'une autre région que de la région parisienne. Ce travail tente de contribuer à l'établissement de valeurs de formants en privilégiant à la fois un nombre conséquent de locuteurs (40) et une exploitation de l'ensemble des voyelles orales (10 : /i, e, ε, a, ɔ, o, u, y, ø, œ/) avec répétitions (4).

## 2 Corpus et méthodologie

Le corpus est un enregistrement des 10 voyelles orales du français, placées dans des phrases cadre telles que : « CV(CV), il a dit « V » comme dans CV(CV) » avec V /i ε e a ɔ o u y ø œ/. Par exemple : « Bébé, il a dit <é> comme dans bébé ». Les 10 phrases sont

---

<sup>1</sup> Nous envisageons de futures études sur des locuteurs masculins. Les locuteurs natifs recrutés pour cette étude sont plutôt des femmes.

présentées dans un ordre aléatoire et répétées 4 fois par 40 locutrices natives du français. Notons que les valeurs formantiques sont en général plus élevées pour les femmes que pour les hommes, sauf pour les formants essentiellement dus à une résonance de Helmholtz (F1 de /i y u/, F2 de /u/, d'après les données de Calliope (Tubach, 1989). La lecture s'est faite à partir d'un fichier PowerPoint où chaque phrase occupe une diapositive pour éviter un effet de liste. Les locutrices ont été invitées à marquer des pauses autour de la voyelle cible afin d'éviter les transitions formantiques de l'occlusive vélaire qui suit, dans la mesure du possible. Une séance d'entraînement préliminaire a été effectuée avant de passer à la lecture du corpus. Certaines voyelles n'ayant pas été prononcées par les locutrices, nous obtenons donc un ensemble de 160 items pour les voyelles /a ε o œ ɔ u ø/, 159 pour /e y/, 157 pour /i/.

### 3 Enregistrements / Traitement

Les enregistrements ont été réalisés dans des lieux calmes : à domicile ou dans le studio d'enregistrement du Laboratoire de Phonétique et Phonologie (LPP), au moyen d'un microphone serre-tête AKG C 520 L. Nous utilisons pour l'enregistrement des données le logiciel Audacity ou Sound Studio avec une fréquence d'échantillonnage à 44100 Hz et une résolution de 16 bits.

#### 3.1 Extraction des résultats

À partir du fichier son, les voyelles isolées sont extraites de la phrase cadre et sont, par la suite, segmentées et étiquetées manuellement avec le logiciel Praat (Boersma et Weenink, 1993-2011). La voyelle segmentée exclut les parties où le F2 et les formants supérieurs ne sont pas clairement observables, les périodes irrégulières dues à une glottalisation ainsi que le *voice decay time* et les irrégularités de fréquences fondamentales, comme la voix craquée.

Chaque voyelle a été caractérisée par (1) les valeurs formantiques moyennées sur toute la longueur de la voyelle, (2) la stabilité des formants au cours de la voyelle, (3) les écarts F1/F2, F2/F3 et F3/F4 et (4) la place dans les triangles vocaliques sur les plans F1-F2 et F2-F3.

Pour mesurer les valeurs des quatre premiers formants de chaque voyelle, nous avons adapté le script « analyse 1 » (<http://www.personnels.univ-paris3.fr/users/cgendrot/pub/download/analyse1.zip>) développé par Gendrot. Quatre valeurs par formant sont détectées automatiquement : la moyenne calculée à partir de toutes les valeurs (mesurées toutes les 6,25 millisecondes) sur les 1<sup>er</sup> (deb), 2<sup>e</sup> (mid) et 3<sup>e</sup> tiers (fin) de la voyelle. Une moyenne globale de toutes ces valeurs a également été extraite. Toutes les mesures sont ensuite vérifiées et corrigées, en cas d'erreurs de détection automatique. À partir de ces mesures, un script Praat développé par Gendrot nous permet de générer des triangles vocaliques sur des axes F1-F2, F2-F3.

### 4 Valeurs formantiques des voyelles réalisées

#### 4.1 La stabilité de la voyelle

L'étude des voyelles en contexte isolé nécessite une vérification de leur stabilité formantique. Pour cela, nous avons calculé un rapport de stabilité entre les valeurs de fin

et de début de chaque voyelle avec la formule suivante : (fin/deb) \* 100. Le résultat obtenu est exprimé en pourcentage. Un pourcentage inférieur à 100%, indique une baisse de formant alors qu'un pourcentage supérieur indique une montée formantique.

Nous observons une instabilité des formants au niveau du F1, sans pour autant dépasser en moyenne 6% de différence entre la fin et le début de la voyelle avec un écart-type de 13,6%. Le F1 le plus instable concerne respectivement /ɔ/, /a/ (baisse), /y/, /i/ et /u/ (montée). Au niveau du F2, la voyelle /u/ présente en moyenne une montée formantique de 6,2% avec un écart-type de 11,6%. Les autres voyelles présentent en moyenne des mouvements inférieurs à 3% entre la fin et le début de chaque voyelle avec un écart-type maximum à 13,6%. Les moyennes des mouvements sur le F3 et F4 ainsi que leurs écarts-types sont moindres, ne dépassant jamais 2% de différence entre la fin et le début de la voyelle avec un écart-type de 6,4%. Les valeurs obtenues ici nous permettent de conclure que les voyelles analysées dans la présente étude sont relativement stables.

Ces résultats corroborent une des caractéristiques majeures des voyelles du français qui est le mode tendu d'articulation (Delattre, 1953). La stabilité des formants des voyelles du français est un facteur important à examiner pour une future comparaison avec les productions des apprenants de FLE ou de locuteurs natifs d'autres variétés de français (Arnaud et al, 2011, pour le québécois).

## 4.2 Les valeurs des formants

Il existe plusieurs sources de données acoustiques des valeurs spectrales des voyelles orales. Les données de Calliope (Tubach, 1989) sont les résultats basés sur un corpus de parole lue et dont les contextes consonantiques modifient la réalisation formantique. On attend également un effet important de la coarticulation dans les données de Gendrot et Adda-Decker (2005) où les valeurs sont extraites de 2 heures de parole où les voyelles occupent des contextes consonantiques et prosodiques différents.

Les moyennes formantiques que nous présentons atteignent des valeurs plus extrêmes que celles présentées par Calliope (Tubach, 1989) et Gendrot et Adda (2005). Elles sont en effet calculées à partir des voyelles hyperarticulées hors contexte. Le tableau 1 permet une comparaison des données de Calliope et Gendrot et Adda avec les nôtres (GD).

En comparant nos résultats à ceux de Calliope et Gendrot et Adda, nous constatons que :

Au niveau de F1, les voyelles fermées /i y u/ et les voyelles mi-fermées /e ø o/ présentent un F1 plus bas, ce qui est un renforcement du trait « fermé ». En revanche, les voyelles mi-ouvertes /ɛ, œ, o/ et la voyelle ouverte /a/ sont réalisées avec un F1 supérieur à celui indiqué par Gendrot et Adda, ce qui est un renforcement du trait « ouvert ». En isolé, ces voyelles occupent donc des positions acoustiques plus extrêmes, et un écartement des voyelles moyennes, selon leur trait phonologique ouvert ou fermé, ce qui est un résultat attendu.

Au niveau de F2, les voyelles antérieures /i y e ε/ présentent un F2 plus élevé alors que les voyelles postérieures /u o ɔ a/ se réalisent avec un F2 plus bas. L'opposition entre le trait « antérieur » et « postérieur » est donc acoustiquement renforcée, ce qui est également un résultat attendu.

Au niveau de F3, les voyelles antérieures non arrondies /i e ε/ ont un F3 nettement plus élevé que pour les autres bases de données, ce qui est attendu, dû à un raccourcissement de la cavité antérieure (Vaissière, 2007). En ce qui concerne la voyelle antérieure arrondie /y/, les différences sont moins marquées et pas cohérentes avec les données de G&A, qui dénote un allongement de la cavité antérieure, comme attendu. La voyelle /ø/ se réalise avec un F3 plus bas, comme attendu. Dans leur réalisation canonique, le F3 de /i/ est dû à la cavité antérieure, et par suite d'échange de cavités, le F2 de /y/ est essentiellement dû à cette même cavité et F3 à la cavité postérieure (Fant, 1960 ; Vaissière, 2007), la valeur plus élevée de F3 chez Gendrot & Adda-Decker (2005) pourrait être expliquée par un degré moins fort de labialisation (arrondissement et/ou protrusion) dans la parole continue. La centralisation du triangle vocalique de Gendrot & Adda-Decker (2005) est une conséquence du phénomène de « *target-undershoot* », de la non-réalisation des valeurs cibles attendues (Lindblom, 1963).

V	Moyenne sur F1			Moyenne sur F2			Moyenne sur F3			Moyenne sur F4		
	Call	GD	G&A	Call	GD	G&A	Call	GD	G&A	Call	GD	G&A
i	306 (42)	<b>275</b> (32)	348 N/D	2456 (111)	<b>2585</b> (228)	2365 N/D	3389 (68)	<b>3815</b> (228)	3130 N/D	3389 (169)	<b>4521</b> (256)	N/D
e	417 (31)	<b>405</b> (44)	423 N/D	2351 (52)	<b>2553</b> (174)	2176 N/D	3128 (115)	<b>3346</b> (202)	2860 N/D	4161 (121)	<b>4325</b> (271)	N/D
ε	660 (46)	<b>614</b> (83)	526 N/D	2080 (108)	<b>2306</b> (160)	2016 N/D	2954 (156)	<b>3137</b> (202)	2800 N/D	4231 (210)	<b>4383</b> (271)	N/D
a	788 (51)	<b>830</b> (113)	685 N/D	1503 (86)	<b>1438</b> (183)	1677 N/D	2737 (174)	<b>2900</b> (179)	2735 N/D	3950 (192)	<b>4065</b> (256)	N/D
y	305 (68)	<b>276</b> (29)	371 N/D	2046 (124)	<b>2091</b> (167)	2063 N/D	2535 (139)	<b>2579</b> (216)	2745 N/D	3570 (216)	<b>3826</b> (221)	N/D
ø	469 (36)	<b>409</b> (47)	420 N/D	1605 (90)	<b>1599</b> (162)	1693 N/D	2581 (148)	<b>2703</b> (178)	2687 N/D	4005 (168)	<b>3985</b> (190)	N/D
œ	647 (58)	<b>599</b> (86)	436 N/D	1690 (47)	<b>1678</b> (156)	1643 N/D	2753 (155)	<b>2843</b> (208)	2715 N/D	4038 (202)	<b>4107</b> (221)	N/D
u	311 (43)	<b>291</b> (31)	404 N/D	804 (53)	<b>779</b> (93)	1153 N/D	2485 (284)	<b>2648</b> (254)	2742 N/D	3550 (197)	<b>3980</b> (356)	N/D
o	461 (38)	<b>415</b> (44)	438 N/D	855 (73)	<b>842</b> (103)	1140 N/D	2756 (240)	<b>2862</b> (165)	2790 N/D	3805 (183)	<b>4048</b> (228)	N/D
ɔ	634 (48)	<b>595</b> (100)	528 N/D	1180 (59)	<b>1144</b> (141)	1347 N/D	2690 (198)	<b>2907</b> (172)	2743 N/D	3950 (201)	<b>4035</b> (209)	N/D

TABLEAU 1 – Valeurs moyennes des formants F1, F2, F3, F4 pour chaque voyelle orale du français, selon Calliope (Tubach, 1989) (Call), Groupe Didactique (GD) et Gendrot et Adda-Decker (2005) (G&A). Les écart-types sont entre parenthèses, N/D : non défini.

Ces résultats montrent que les voyelles prononcées hors contexte occupent un espace acoustique plus large, comme nous pouvons voir sur la figure 2. Les voyelles /i y u e ø o/ se réalisent avec un F1 bas, les voyelles /ε œ ɔ a/ avec un F1 élevé. Les voyelles antérieures /i y e ε/ présentent un F2 plus élevé alors que les voyelles postérieures /u o ɔ a/ se démarquent par un F2 plus bas. En ce qui concerne le F3, nécessaire pour la description des voyelles antérieures labiales, il est plus bas uniquement pour le /ø/.

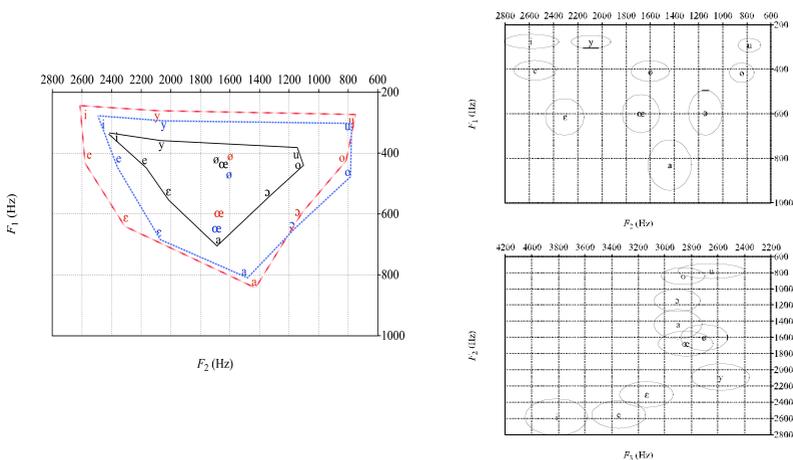


FIGURE 1 – Comparaison des triangles vocaliques sur le plan F1-F2 de Gendrot-Adda (en noir), Calliope (en bleu) et GD (en rouge) à gauche. Valeurs des formants sur un plan F1/ F2 et F2/ F3 de GD (à droite).

#### 4.2.1 Les voyelles focales

L'observation de ces valeurs formantiques montre que certaines voyelles sont caractérisées par un rapprochement de deux formants : les voyelles focales (Schwartz et al. 1997, Vaissière, 2007). La voyelle /y/, qui est focale, est marquée par un petit écart F2/F3 (Vaissière, 2007) : l'arrondissement et la protrusion des lèvres ont un effet d'abaissement du F3, qui est dû essentiellement à la cavité antérieure dans le cas du /i/ français et qui devient une résonance de la cavité postérieure dans le cas de /y/ canonique quand il y a une forte constriction en avant du conduit vocal (passage du /i/ au /y/ français : *ibid.*). Le rapprochement F3/F4, comme indiqué ci-dessus, est particulièrement caractéristique du /i/ français (par rapport aux autres langues), alors que les autres voyelles antérieures non-arrondies, notamment les /e/ et /ε/ sont caractérisées par un F3 qui se situe à mi-chemin entre F2 et F4 (Liénard, 1977, Calliope, 1989, Vaissière, 2006, entre autres). Les voyelles postérieures du français /u o ɔ/, voyelles focales, sont caractérisées par une petite distance F1/F2 (Liénard, 1977, Tubach, 1989, Vaissière, 2006, entre autres). Les voyelles « acoustiquement centrales » /ø œ/ sont caractérisées par des formants approximativement équidistants (Vaissière, 2006), donc par des valeurs semblables d'écart F1/F2, F2/F3, F3/F4.

Le calcul des distances entre les valeurs de formants voisins nous permet de quantifier le rapprochement entre F3 et F4 pour la voyelle /i/, entre F2 et F3 pour la voyelle /y/, et enfin entre F1 et F2 pour les voyelles postérieures, et cela pour de futures comparaisons avec les apprenants. /i/ et /y/ sont notamment mentionnés comme des représentantes idéales du processus de focalisation puisque caractérisées par le rapprochement de deux

de leur formants (Schwartz et al. 1997). Il a été trouvé que le /i/ du français possède la moindre distance entre F3 et F4 dans l'étude de Gendrot et al. (2008) sur le /i/ dans la parole continue en anglais, allemand, espagnol, portugais, arabe, chinois mandarin et français. Le Table 2 montre les distances en moyenne entre deux formants voisins.

	i	e	ɛ	a	y	ø	œ	u	o	ɔ
F2-F1	2309 (14)	2148 (13,5)	1693 (12)	<b>608</b> (6)	1816 (12,5)	1183 (9,5)	1079 (9)	<b>488</b> (5)	<b>427</b> (4)	<b>549</b> (5,5)
F3-F2	1229 (10)	793 (7)	831 (7,5)	1461 (11)	<b>488</b> (5)	1097 (9)	1164 (9,5)	1869 (12,5)	2021 (13)	1763 (12)
F4-F3	<b>706</b> (6,5)	979 (8,5)	1246 (10)	1165 (10)	1247 (10)	1274 (10)	1265 (10)	1332 (10,5)	1185 (9,5)	1128 (9)

TABLE 2 – Distances en moyenne entre deux formants voisins des voyelles étudiées. En gras, les distances inférieures à 800 Hz, qui correspond dans tous les cas aux voyelles dites focales du français. Valeurs en Bark entre parenthèse (Traummüller, 1997).

Nous pouvons constater que pour les voyelles focales postérieures /u o ɔ/, la distance entre F1 et F2 se situe entre 400 et 550 Hz, tandis que cette distance est manifestement plus écartée pour les voyelles antérieures (entre 1000 et 2400 Hz). Cette distance est aussi relativement rapprochée (env. 600 Hz) pour la voyelle /a/ souvent décrite comme articulatoirement antérieure. Pour la voyelle focale arrondie /y/, la distance entre F2 et F3 à environ 500 Hz confirme le rapprochement des deux formants. Pour la voyelle focale /i/, la distance entre F3 et F4 se trouve autour de 700 Hz. Ces tendances générales vocaliques sont prédictibles sur la base de la distinctivité et de la prégnance acoustico-perceptive pour les voyelles, selon la théorie de la dispersion focalisation. Il est à noter que certains locuteurs peuvent adopter une autre stratégie acoustique en rapprochant F4 et F5 pour produire le /i/ du français (Vaissière, 2011). Nous n'avons malheureusement pas pu calculer la distance entre les deux formants, car dans plus de 50% des cas, le F5 n'a pas été correctement détecté.

## 5 Conclusion

Cette étude s'est intéressée à la production des voyelles orales du français en contexte isolé. Après avoir conclu à la relative stabilité des voyelles, les moyennes formantiques observées se sont montrées plus élevées que celles de Gendrot-Adda (2005) et Calliope (Tubach, 1989) pour la plupart des voyelles (sauf le F1 des voyelles fermées, le F2 des voyelles postérieures, entre autres). L'espace acoustique est par conséquent plus large atteignant les cibles acoustiques attendues (Lindblom, 1963). Les écarts entre les formants F1-F2, F2-F3 et F3-F4 pour les voyelles focales sont conservés. Nous pourrions par la suite observer la réalisation de ces 40 locutrices francophones dans des contextes consonantiques différents car le corpus développé se construit dans son ensemble, en 4 temps : la production de voyelles isolées dans une phrase cadre (qui sert à la réalisation de l'étude ici présentée), la production de logatomes  $C_1V_1C_1V_1C_1V_1C_1$  dans une phrase cadre où  $C_1$  correspond aux consonnes du français, et  $V_1$  à l'ensemble des voyelles ; ensuite, la lecture d'un texte et de phrases et enfin une production spontanée (de 10 minutes) aidée par des questions aiguillées sur les langues, leur apprentissage et le parcours universitaire des sujets (Landon et al., 2011). Cette étude permet donc

l'élaboration d'une référence sur les caractéristiques acoustiques des sons du français, étape nécessaire à l'identification des écarts de productions entre apprenants et natifs.

## Remerciements

Nous tenons à remercier Jacqueline Vaissière et Angélique Amelot pour leurs relectures et conseils avisés ainsi que nos 40 gentils locuteurs et les autres membres du groupe didactique, tout particulièrement Júlia Crochemore, Sara Da Silva et Saïd Youssef.

## Références

ARNAUD, V., SIGOUIN, C. et ROY, J. (2011). Acoustic description of Quebec French high vowels: first results. In *Proceedings of the 17th ICPhS, Hong Kong*, pages 244-247.

BOERSMA, P. et WEENINK, D. (1993-2011). Praat: doing phonetics by computer [logiciel].

FANT, G. (1960). *Acoustic Theory of Speech Production*. The Hague, Mouton.

GENDROT, C. [HTTP://ED268.UNIV-PARIS3.FR/LPP/PAGES/EQUIPE/GENDROT/PAGE\\_WEB/INDEX.HTM](http://ed268.univ-paris3.fr/lpp/pages/equipe/gendrot/page_web/index.htm)

GENDROT, C. et ADDA-DECKER, M. (2005). Impact of duration on F1/F2 formant values of oral vowels: an automatic analysis of large broadcast news corpora in French and German. In *Proceedings of Interspeech 2005*, pages 2453-2456.

GENDROT, C., ADDA-DECKER, M. et VAISSIÈRE, J. (2008). Les voyelles /i/ et /y/ du français : focalisation et variations formantiques. In *Actes des JEP 2008*, Avignon, pages 205-208.

LANDRON, S., PAILLIEREAU, N., NAWAFLEH, A., EXARE C., ANDO, H. et GAO, J. (2011). Vers la construction d'un corpus commun de français langue étrangère : pour une étude phonétique des productions de locuteurs de langues maternelles plurielles. In *Actes du colloque « Corpus, données, modèles : approches qualitatives et quantitatives »*, Montpellier.

LEON, P. R. (2000). *Phonétisme et prononciations du français* (4ème édition). Paris, Nathan.

LIENARD, J.-S. (1977). *Les processus de la communication parlée : introduction à l'analyse et la synthèse de la parole*. Paris, Masson.

LINDBLOM, B. (1963) Spectrographic study of vowel reduction. *Journal of the Acoustical Society of America* 35, pages 1773-1781.

SCHWARTZ, J.-L., BOË, L.-J., VALLÉE, N. et ABRY, C. (1997). The Dispersion-Focalization Theory of vowel systems. *Journal of Phonetics* 25(3), pages 255-286.

TUBACH, J.-P. (1989). *La parole et son traitement automatique*, Calliope. Masson, Paris.

TRAUNMÜLLER, H. (1997). Auditory scales of frequency representation. <http://www.ling.su.se/staff/hartmut/bark.htm> ]

VAISSIÈRE, J. (2006). *La phonétique*. Paris, Presses universitaires de France.

VAISSIÈRE, J. (2007). Area functions and articulatory modeling as a tool for investigating the articulatory, acoustic and perceptual properties of sounds across languages. In Solé M. J., Beddor, P. S., Ohala M., *Experimental Approaches to Phonology*. Oxford, Oxford University Press, pages 54-71.

VAISSIÈRE, J. (2011). On the acoustic and perceptual characterization of reference vowels in a cross-language perspective. In *Proceedings of the 17th ICPhS, Hong Kong*, pages 52-59.