

Basset, P., Amelot, A., Crevier-Buchman, L. (à paraître) Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *PARole*.

Patricia Basset¹, Angélique Amelot² & Lise Crevier-Buchman³

¹ Université de la Sorbonne Nouvelle, Laboratoire de Phonétique et de Phonologie

² Université Stendhal, Institut de la communication parlée

³ HEGP Hôpital Européen Georges Pompidou

Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques

Mots-clés : Consonnes nasales, flux nasal, hauteur du voile du palais, anticipation, propagation, variabilité, données simultanées.

Key words: Nasal consonant, nasal air-flow, velar height, anticipation, carryover, variability, simultaneous data.

1. INTRODUCTION

Le trait de nasalité est très largement répandu dans les langues du monde : environ 96 %¹ des langues l'utilisent dans leur inventaire consonantique (Maddieson, 1981). Ce trait est réalisé par l'ouverture du port vélopharyngé et la mise en connexion de la cavité nasale. L'empan de la coarticulation progressive et régressive en français devrait être limité à cause de l'existence de voyelles nasales dans l'inventaire français (Cohn, 1990, p.89).

En fonction de l'instrumentation utilisée, ou de l'emplacement exact des capteurs et de la partie du voile (inférieure ou supérieure) qui est observée, les conclusions peuvent différer. Une étude récente sur la nasalité consonantique et vocalique en français à partir de données issues de l'articulographe électromagnétique (Ouvoroff & Rossato, 2006) montre une faible anticipation du mouvement vélaire et une tendance à la propagation. Dans ce travail, les bobines sont placées sur la partie inférieure du voile du palais. Des études articulatoires sur le français à partir de données fibroscopiques en regardant le voile par sa face supérieure montrent à l'inverse une anticipation du geste d'abaissement vélaire allant dans le sens de la tendance universelle admise par (Passy, 1890), accompagnée par une propagation du geste d'abaissement sur le phonème suivant (Benguerel *et al.*, 1975 ; Amelot, 2004). Des études aérodynamiques suggèrent pour les consonnes et les voyelles nasales, une durée d'anticipation très faible et dans certain cas un retard de l'apparition du flux nasal par rapport au début de la consonne ou de la voyelle nasale et une forte propagation après le phonème nasal (Benguerel, 1974 ; Cohn, 1990 ; Basset *et al.*, 2001 ; Delvaux, Thierry, Soquet & Alain, 2002 ; Amelot, 2004), corroborant l'idée d'une propagation minimale à gauche du trait nasal. Le débit d'air nasal, en particulier, dépend du degré de couplage et de l'impédance à l'intérieur du conduit oral.

Des études combinant plusieurs moyens d'investigations sur les mêmes données ont montré qu'il était indispensable de valider et/ou compléter un moyen d'observation par un autre avant de conclure (Bell-Berti & Hajime,

¹ D'après les données de la base de données UPSID (UCLA Phonological Segment Inventory Database) sur 451 langues.

Basset, P., Amelot, A., Crevier-Buchman, L. (à paraître) Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *PARole*.

1975 ; Henningsson & Isberg, 1991 ; Bell-Berti, 1993). Nous avons donc utilisé un moyen d'observation indirecte de l'ouverture du port vélopharyngé (aérodynamique), complété par un moyen d'observation directe (fibroscopie).

Le but de ce travail préliminaire est de mieux comprendre les relations temporelles entre aérodynamique et articulatoire et d'analyser le sens de la propagation du trait nasal sur les voyelles adjacentes, à partir des durées aérodynamiques et articulatoires associées au trait nasal porté par les consonnes ([m] et [n]) du français.

2. METHODOLOGIE

2.1. Corpus et locuteurs

Trois locuteurs français, deux femmes et un homme (sans pathologie apparente de la voix ou de la parole) et parlant un français " parisien " standard, ont répété deux fois une liste de logatomes de la forme $C_1V_1NV_1C_1V_1$ enchâssés dans une phrase cadre où $N=[m, n]$; $V_1=[i, u, a,]$ et $C_1=[b, p, t, d, l, r, s, z]$, comme dans l'exemple " il a dit pamapa trois fois ". Sur les 288 logatomes prononcés par les locuteurs, nous avons analysé 238 items : la présence de mucus rendant certaines images obtenues à partir des données fibroscopiques inexploitable.

2.2. Acquisition des données

Les données fibroscopiques ont été enregistrées à l'aide d'un fibroscope relié à une caméra Olympus Enf-P4 inséré sans anesthésie dans la narine gauche, et maintenu en place par un embout narinaire afin d'éviter les fuites d'air *cf.* figure 1.

Basset, P., Amelot, A., Crevier-Buchman, L. (à paraître) Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *PArole*.

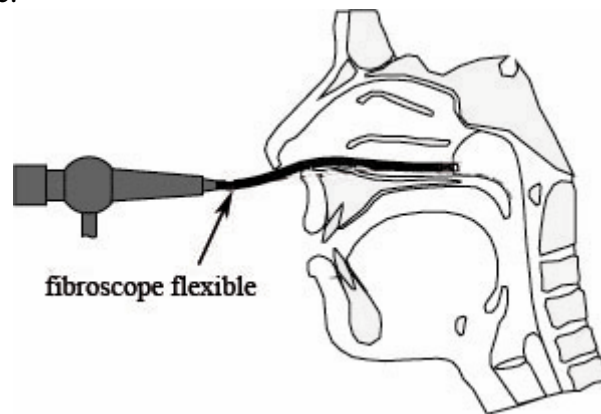


Figure 1: le fibroscope est inséré dans la narine en passant par le cornet inférieur et positionné juste au-dessus du port vélopharyngé, à la limite du palais dur.

Les données vidéo ont été enregistrées directement sur le disque dur d'un ordinateur à l'aide de l'interface de la station d'acquisition Atmos (www.atmosmed.de). Les mesures sont obtenues à partir d'images vidéo à 25 images par seconde soit une image toute les 40 ms ce qui entraîne une marge d'erreur de 20 ms sur le timing précis du début et de fin du cycle vélaire complet. Le voile du palais est un articulateur relativement lent (Stevens, 1998, p. 48). Au vue de nos données, on ne passe jamais d'une image à l'autre (40ms), d'une position haute à une position basse et jamais de la position haute à la position basse entre deux images (entre 40 ms). Le signal sonore a été enregistré par un micro cravate Sony, placé sur le fibroscope et relié à la station d'acquisition permettant ainsi une synchronisation instantanée avec les images vidéo.

Le flux d'air nasal a été capté à l'aide d'un embout narinaire, adapté à la morphologie du locuteur et placé dans la narine laissée libre par le fibroscope. Le flux d'air oral a été recueilli par un masque buccal souple n'entravant pas les mouvements de la mâchoire. Le signal sonore a été enregistré à l'aide un microphone placé à l'arrière du masque souple. Comme indiqué sur la figure 3, chaque élément est fixé à une pièce à main contenant les capteurs de débits et connecté à la station d'acquisition EVA2 (Teston & Galindo, 1990). Un bip sonore a été émis au début de chaque phase d'enregistrement à des fins de post-synchronisation.

Basset, P., Amelot, A., Crevier-Buchman, L. (à paraître) Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *PARole*.

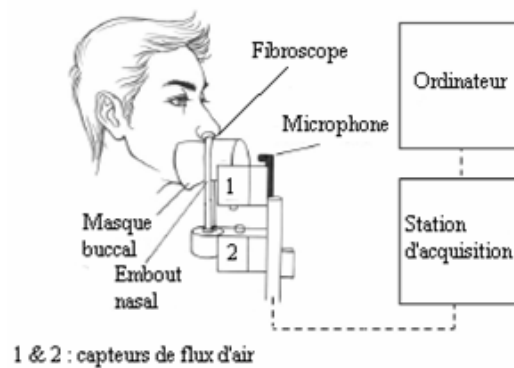


Figure 2: prise de données aérodynamiques et fibroscopiques simultanées. Schématisation de la station EVA et position des différents capteurs.

2.3. Segmentation et étiquetage

Les films vidéos ont été transformés en une suite d'images. Une phase de respiration, montrant un abaissement maximal du voile a été choisie pour déterminer la position de référence. Les différences de hauteur du voile par rapport à cette position ont été notées manuellement image par image. Les points ont été interpolés toutes les 40 ms pour obtenir une courbe représentant les mouvements du voile du palais en fonction du temps. Comme indiqué sur la figure 3, les images renseignent sur les mouvements du velum mais ne donnent pas d'indication sur le degré d'ouverture du port vélopharyngé.

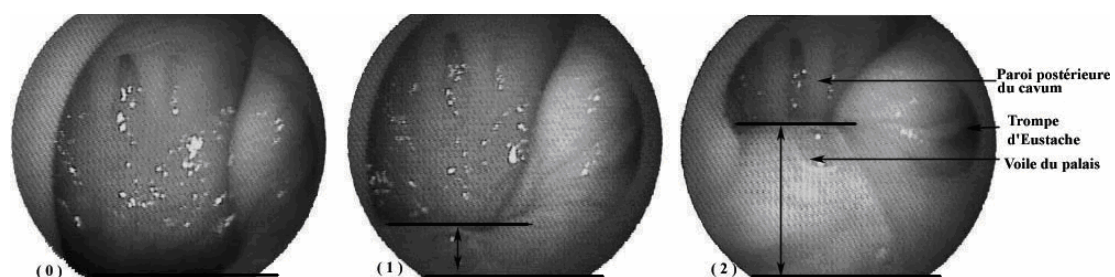


Figure 3: mesures des mouvements du velum. (0) : position de référence : velum maximalement abaissé lors d'une respiration ; (1) et (2) : différentes positions du velum mesurées images par images.

Basset, P., Amelot, A., Crevier-Buchman, L. (à paraître) Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *PARole*.

Le signal acoustique correspondant aux données aérodynamiques a été synchronisé avec le signal acoustique des données fibroscopiques à l'aide du logiciel Sound Forge à partir du bip sonore de départ. Le signal acoustique obtenu a été segmenté manuellement à l'aide de spectrogrammes et étiqueté phonétiquement (*cf.* Figure 4). La disparition du deuxième formant de la voyelle précédente a été choisie comme le début acoustique de la consonne nasale et l'apparition des transitions formantiques de la voyelle suivante (apparition de F_2) indiquent la fin de la consonne nasale.

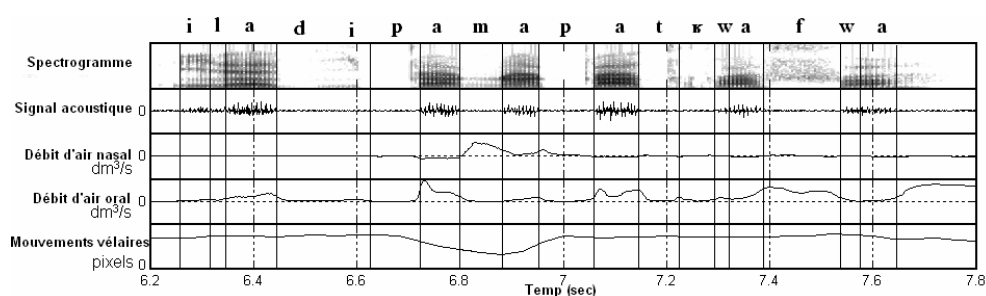


Figure 4: exemple de données fibroscopiques et aérodynamiques synchronisées. Phrase prononcée par le locuteur homme (loc3) : “ il a dit pamapa trois fois ”.

2.4. Mesures

La figure 5 indique les mesures effectuées : A est la durée acoustique de la consonne nasale ; B est la durée totale d'un cycle complet du mouvement du velum, d'une position d'élévation à une position d'élévation, en passant par un abaissement maximum ; C est la durée du débit d'air nasal (DAN) positif et D est le DAN négatif ; F est la durée du débit d'air oral (DAO). Les mesures de mise en rapport des différents types de données concernent : la distance entre le début acoustique de la consonne nasale et le début de DAN (C') ; la distance entre la fin de la consonne et la fin du DAN (C'') ; la distance entre le début de la consonne nasale et le début du mouvement d'abaissement (B') ; la distance entre la fin de la consonne nasale et la fin du cycle du mouvement du velum (B'').

Basset, P., Amelot, A., Crevier-Buchman, L. (à paraître) Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *PARole*.

Une analyse de variance ANOVA et un test PLSD Fisher (niveau de significativité $p < 0,001$) ont été utilisés pour comparer les valeurs moyennes et mesurer l'effet du locuteur, du contexte vocalique et de la consonne avoisinante sur les mesures.

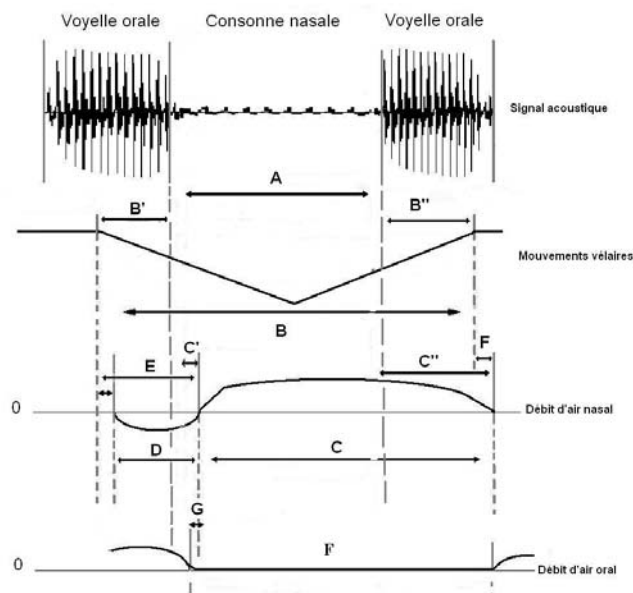


Figure 5: illustration des différentes mesures faites : A=durée de la consonne nasale, B=durée du mouvement d'abaissement vélaire de la position d'élévation maximum à la position d'élévation maximum, C=durée du DAN positif, B'=écart temporel entre le début acoustique de la consonne nasale et le début de l'abaissement vélaire, B''= écart temporel entre la fin acoustique de la consonne nasale et la fin du mouvement d'abaissement vélaire, C'= écart temporel entre le début acoustique de la consonne nasale et le début du DAN positif, C''= écart temporel entre la fin acoustique de la consonne nasale et la fin du DAN positif, D=durée du DAN négatif.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Durée des consonnes (cf. A sur la figure 5)

La durée acoustique moyenne des consonnes nasales est de 66 ms ($\sigma=16$; $n=238$). La nature de la consonne nasale, le locuteur, la nature de la consonne située avant et après les voyelles adjacentes (C_1 dans le logatome $C_1V_1NV_1C_1V_1$), et l'entourage vocalique ont des effets sur cette durée. Le tableau 1 reprend l'ordre de gauche à droite des résultats d'une ANOVA sur l'influence des facteurs. La différence de durée moyenne est significative entre le [m] 72 ms et le [n] 60 ms ($F(1,190)=52$, $p<0,001$). Pour loc1 et loc3, la durée moyenne du [m] est supérieure à la durée moyenne du [n] tandis que pour loc2, les deux consonnes nasales ont la même durée. La figure 6 montre que la durée du [m] pour loc1 et loc2 est plus longue avec la consonne [l] en position C_1 .

Durée moyenne en ms et Ecart types (σ) du [m] et [n]																
		locuteurs						C_1								
		Loc1		Loc2		Loc3		p,b		t,d		l,r		s,z		
		(n=61)		(n=95)		(n=82)		(n=56)		(n=61)		(n=61)		(n=60)		
	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ
[m]	72	16	73	21	62	14	80	11	67	18	72	15	81	13	65	17
(n=126)																
[n]	60	11	52	11	64	10	62	9	57	13	58	12	63	10	61	10
(n=112)																

Tableau 1: durées et écarts types (σ) des consonnes nasales en fonction du phonème, du locuteur et de la consonne C_1 dans le contexte $C_1V_1NV_1C_1V_1$. Le tableau reprend l'ordre de gauche à droite des résultats d'une analyse de variance ANOVA sur les facteurs qui influent sur la durée des consonnes nasales. $F(1, 190 = 32)$.

Basset, P., Amelot, A., Crevier-Buchman, L. (à paraître) Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *PARole*.

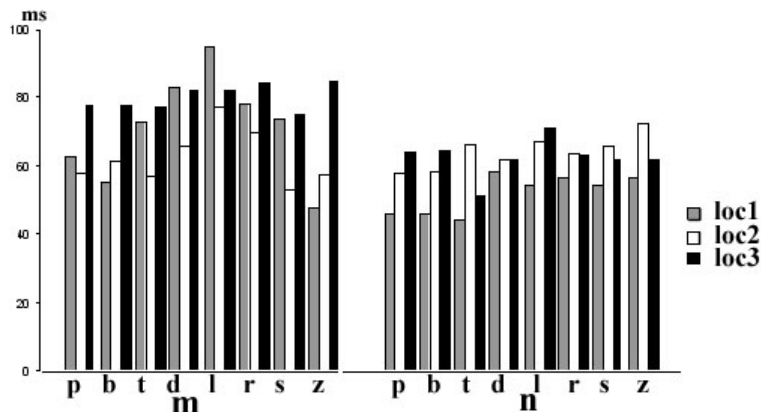


Figure 6: durées des consonnes nasales en fonction du locuteur et de la consonne C_1 dans le contexte $C_1V_1NV_1C_1V_1$. Effet allongeant du [l] pour le locuteur 1 (loc1) et le locuteur 2 (loc2).

3.2. Mesures sur le débit d'air nasal (DAN).

3.2.1. Durée du DAN positif (cf. C sur la figure 5)

La durée moyenne du DAN est de 227 ms ($\sigma=62$; $n=265$). Une analyse de variance montre que le DAN varie en fonction du locuteur, de la nature de la consonne nasale, de l'entourage vocalique et de la consonne C_1 . Ces résultats montrent une différence de hiérarchie entre les facteurs qui influent sur la durée des consonnes nasales et ceux qui influent sur la durée moyenne du DAN. La différence de durée du DAN entre les locuteurs est très significative ($F(2,220) = 45$, $p < 0,001$) et montre une grande variabilité (cf. tableau 2) en fonction de la nature de la consonne nasale. Pour le [m] la durée du DAN de loc1 est supérieure à la durée du DAN de loc2 et supérieure à la durée du DAN de loc3. Pour le [n] durée du DAN de loc2 est supérieure à la durée DAN de loc1 et supérieure à la durée DAN de loc3. La durée du DAN de [m], 237 ms, est supérieure à la durée du DAN de [n], 214 ms pour les trois locuteurs ($p < 0,001$). En ce qui concerne l'influence des voyelles adjacentes, le DAN est plus long dans le contexte vocalique [i] pour le [m] et le [n] pour loc1 et loc3 (cf. Figure 7).

Durée moyenne en ms et écarts types (σ) du DAN														
		locuteurs						Voyelles entourages						
		Loc1		Loc2		Loc3		a		i		u		
		(n=67)		(n=100)		(n=98)		(n=95)		(n=85)		(n=85)		
	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ
[m]	237	64	282	66	262	51	189	39	240	51	255	78	219	57
(n=126)														
[n]	214	60	196	54	249	58	184	44	209	63	222	55	212	63
(n=112)														

Tableau 2: durées et écarts types (σ) du DAN en fonction du phonème, du locuteur et de la voyelle d'entourage V_1 dans le contexte $C_1V_1NV_1C_1V_1$.

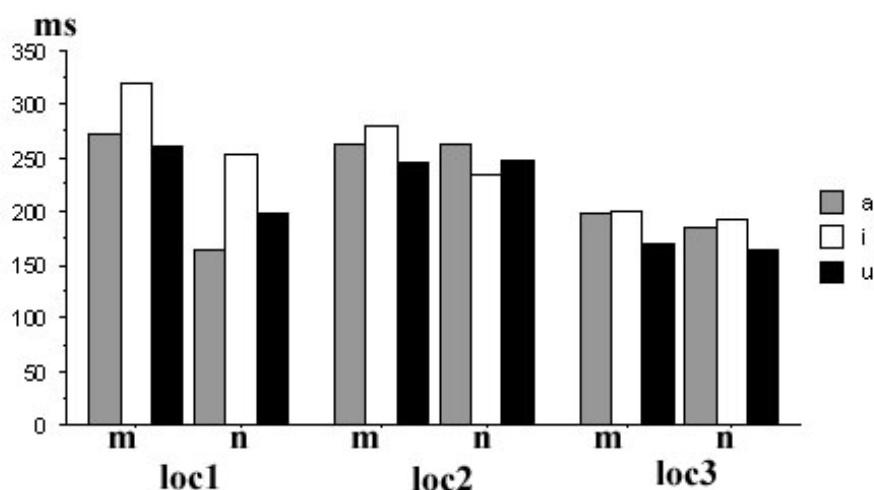


Figure 7: durée du débit d'air nasal (DAN) en fonction du locuteur, de la nature de la consonne et de la voyelle d'entourage.

3.2.2. Durée du DAN négatif (cf. D sur la figure 5)

Une phase de DAN négatif avant l'apparition du flux d'air nasal positif d'une durée moyenne de 91 ms ($\sigma=35$) est présent pour 42 % des logatomes analysés (cf. figure 8). (Benguereel, 1974) explique cette phase de débit d'air négatif, comme le début du mouvement du velum. Pendant cette période, avant l'ouverture du port vélopharyngé, l'abaissement du voile du palais permet aux cavités nasales d'augmenter légèrement de volume, ce qui crée un faible appel d'air. Le taux de présence de DAN négatif varie en fonction de

Basset, P., Amelot, A., Crevier-Buchman, L. (à paraître) Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *PARole*.

l'environnement vocalique (*cf.* tableau 3). Une phase de DAN négatif s'observe devant 71 % des consonnes nasales dans l'environnement vocalique [a-a]. C'est la voyelle produite avec le voile du palais le plus bas (Moll, 1962) et avec la durée de DAN négative la plus longue (*cf.* tableau 5). Dans l'entourage vocalique ($V_1=[a]$) la durée d'anticipation du mouvement d'abaissement du velum est la plus importante (*cf.* tableau 4). Une des hypothèses est que le voile du palais s'abaisse effectivement durant la voyelle [a] sans ouverture du port vélopharyngé et donc sans connexion entre les cavités orales et nasales. Il serait intéressant de vérifier la position intrinsèque du [u] par rapport à celle du [i] pour chacun de nos locuteurs pour savoir s'il existe un rapport entre la durée du DAN négatif et la hauteur de la voyelle. Des études récentes ont montré que la hauteur vélaire de ces deux voyelles peut varier en fonction des locuteurs (Amelot & Rossato, 2006).

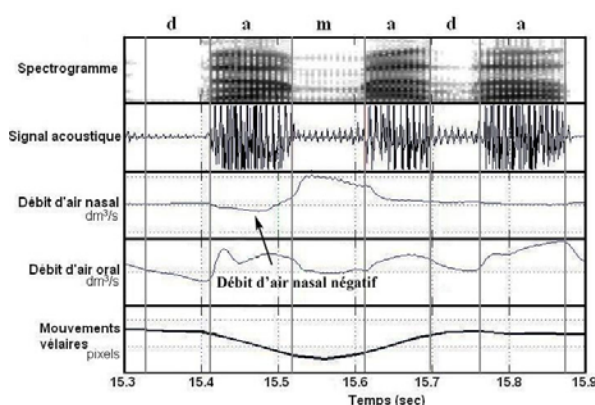


Figure 8: spectrogramme, courbes de DAN, DAO et mouvement du velum pour la logotome “ damada ” par le locuteur homme.

	[a-a]				[u-u]				[i-i]			
	Durée ms	σ	items	%	Durée ms	σ	items	%	Durée ms	σ	items	%
[m,n]	106	39	56/79	71	77	29	28/80	35	90	13	17/79	21

Tableau 3: durée en ms, écarts–types (σ) et pourcentage de DAN négatif avant le début du débit d'air nasal de la consonne nasale dans chaque contexte vocalique.

Basset, P., Amelot, A., Crevier-Buchman, L. (à paraître) Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *PARole*.

3.2.3. *Anticipation du DAN par rapport au phonème (cf. C' sur la figure 5)*

Les résultats montrent que le DAN commence avant le phonème nasal (cf. tableau 4) dans 37 % des cas. La durée moyenne de cette anticipation est de 15 ms. Dans 63 % des cas, le DAN commence en même temps que le phonème ou avec un retard moyen de 29 ms. Ces résultats sont en accord avec (Ohala & Ohala, 1991) et (Basset *et al.*, 2001) sur le français. Le faible taux d'anticipation aérodynamique, et surtout la durée très courte de cette anticipation pourraient être interprétés comme une contrainte du français pour préserver la distinction entre voyelle orale/voyelle nasale précédente.

Phonèmes	Nb Anticipation	Anticipation (durée)	Nb Simultanée	Nb Retard	Retard (durée)
[m]	45 (36 %)	14 ms	24 (19 %)	57 (45 %)	32 ms
[n]	44 (39 %)	17 ms	29 (26 %)	39 (35 %)	24 ms
total	89 (37 %)	15 ms	53 (23 %)	96 (40 %)	29 ms

Tableau 4: tableau du nombre d'items où le DAN commence avant le début du phonème ou en même temps ou après le début du phonème.

3.2.4. *Persévérance du DAN après la consonne nasale (cf. C'' sur la figure 5)*

Dans 100 % des cas, le flux nasal se prolonge après la consonne nasale de 154 ms en moyenne. Pour 79 % des occurrences, le flux se propage au-delà de la voyelle suivante (V_1). Une ANOVA montre l'influence du locuteur, de la nature de la consonne nasale et de V_1 sur la propagation du flux nasal (cf. tableau 5. La différence est significative entre loc1 et loc3 et entre loc2 et loc3, ($F(2,220)=45, p<0,001$). En ce qui concerne l'influence de V_1 sur la durée de la propagation du DAN, les tendances varient en fonction de l'interaction entre les variables du locuteur, de la consonne nasale et de la voyelle d'entourage (cf. figure 9).

Basset, P., Amelot, A., Crevier-Buchman, L. (à paraître) Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *PARole*.

Durée moyenne en ms et écarts types (σ) de la persévération du DAN														
			locuteurs						Voyelles entourages					
			Loc1		Loc2		Loc3		a		i		u	
			(n=61)		(n=96)		(n=81)		(n=79)		(n=79)		(n=80)	
	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ
[m] (n=126)	156	71	191	34	204	58	89	37	176	61	164	81	130	63
[n] (n=112)	152	61	149	57	189	54	100	30	152	57	153	64	150	63

Tableau 5: durées et écarts types (σ) de la propagation du DAN après la consonne nasale en fonction du phonème, du locuteur et de la voyelle d'entourage V_1 dans le contexte $C_1V_1NV_1C_1V_1$.

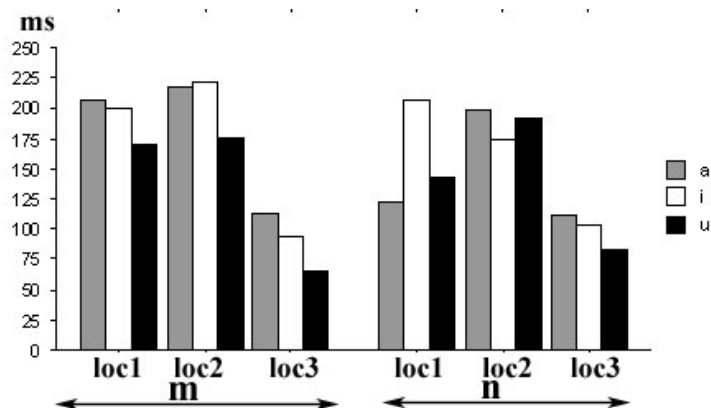


Figure 9: propagation du DAN. Durée de la propagation du DAN en fonction du locuteur, de la consonne nasale et de la voyelle d'entourage.

3.3. Mesures sur le mouvement du velum

3.3.1. Durée du mouvement du velum (cf. B sur la figure 5)

La durée moyenne du mouvement du velum pour la réalisation du trait nasal est de 294 ms ($\sigma=54$; $n= 238$). Ce résultat est cohérent avec les durées pour l'anglais ; Stevens (Stevens, 1998), à partir de données acoustiques, indique que la durée d'un cycle complet pour le mouvement du velum sur les

Basset, P., Amelot, A., Crevier-Buchman, L. (à paraître) Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *PARole*.

items /imi/ et /ama/ est comprise entre 200 et 300 ms. Ces résultats concordent avec ceux de Moll à partir de données cinéradiographiques (Moll, 1971). Une ANOVA montre l'influence prépondérante de la voyelle d'entourage, puis l'effet du locuteur, de C₁ et en dernier lieu de la nature de la consonne nasale. La différence de durée est significative entre la voyelle ouverte [a] et les deux voyelles fermées [i,u] (F(2,166)=52, p<0,001) (cf. tableau 6 et figure 10). La question qui se pose est de savoir s'il s'agit d'anticipation du mouvement du voile du palais ou d'une différence de la position intrinsèque du voile du palais pour [a] par rapport à [i] et [u] (Moll, 1962 ; Bell-Berti & Hajime, 1973 ; 1975 ; Benguerel, *et al.*, 1975 ; Clumeck, 1976). La différence est significative entre les locuteurs (p<0,0001). Il n'y a pas de différence entre les phonèmes m=294 et n=295ms.

Durée moyenne en ms et écarts types(σ) du mouvement complet du velum														
		Voyelles entourages						Locuteurs						
		a		i		u		Loc1		Loc2		Loc3		
		(n=79)		(n=79)		(n=80)		(n=61)		(n=96)		(n=81)		
	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ
[m]	294	47	337	37	287	39	263	33	312	46	296	49	283	44
(n=126)														
[n]	295	61	333	60	276	49	272	53	317	59	304	60	255	44
(n=112)														

Tableau 6: durées et écarts types (σ) du mouvement complet du velum durant la production des consonnes nasales [m] et [n] du français, de la position élevée au retour à la position élevée.

Basset, P., Amelot, A., Crevier-Buchman, L. (à paraître) Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *PARole*.

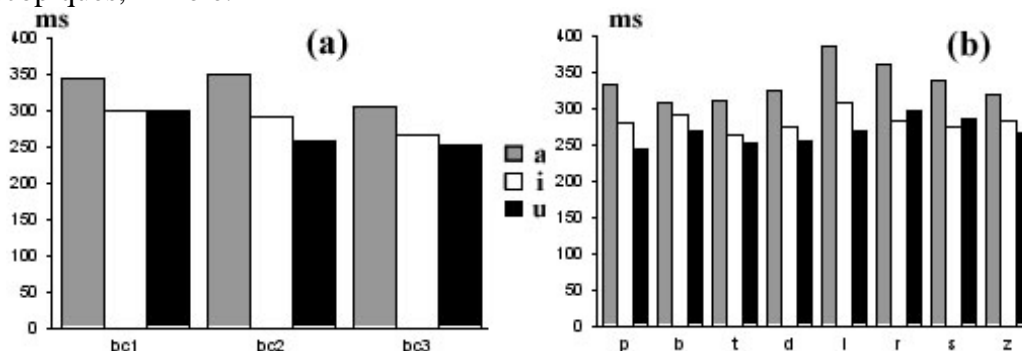


Figure 10: propagation du mouvement du velum. (a) Interactions locuteurs*voyelles d'entourage. (b) Interactions consonnes C₁*voyelles d'entourage.

3.3.2. Anticipation du mouvement du velum (cf. B' sur la figure 5)

Dans 100 % des cas le mouvement du velum commence avant la consonne nasale. La durée moyenne de l'anticipation est de 103 ms ($\sigma=31$, $n=265$). Une analyse de variance ANOVA montre l'influence du contexte vocalique et du locuteur (cf. tableau 7). [a] est la voyelle la plus propice à l'anticipation pour les trois locuteurs ($F(2,220)=45$, $p<0,001$). Ce qui pourrait être un artefact du au fait que le [a] a une position intrinsèque plus basse. Il est plus difficile d'estimer le point de départ d'abaissement du voile correspondant à la production du trait nasal pour la consonne et de le distinguer de la hauteur vélaire intrinsèque nécessaire à la production de la voyelle (Bell-Berti & Hajime, 1975).

Des tests de perception sur les voyelles précédant la consonne nasale sont nécessaires pour évaluer les répercussions sur le degré de nasalité perçue. (Durand, 1953) à partir de données cinéradiographiques montre qu'une distance de 10 mm entre la paroi pharyngée postérieure et le voile du palais n'est pas suffisante pour percevoir de la nasalité, elle donne l'exemple de l'abaissement du voile dans "il l'a" [ila] qui n'est pas perçue comme nasalisé.

Basset, P., Amelot, A., Crevier-Buchman, L. (à paraître) Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *PARole*.

Durée moyenne en ms et écarts types(σ) de l'anticipation des mouvement du velum														
		Voyelles entourages						Locuteurs						
		a		i		u		Loc1		Loc2		Loc3		
		(n=79)		(n=79)		(n=80)		(n=61)		(n=96)		(n=81)		
	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ
[m]	100	29	126	27	95	23	82	18	96	21	112	33	91	25
(n=126)														
[n]	107	37	132	38	91	24	98	36	114	32	121	41	81	20
(n=112)														

Tableau 7: durées et écarts types (σ) de l'anticipation du mouvement complet du velum durant la production des consonnes nasales [m] et [n] du français.

3.3.3. Persévération du mouvement du velum après la consonne nasale (cf. B'' sur la figure 5)

Dans 100 % des cas le mouvement du velum se poursuit après la consonne nasale. La différence de durée moyenne de 123 ms pour [m] et de 129 ms pour [n] n'est pas significative. Une analyse de variance ANOVA montre une variabilité en fonction du locuteur ($F(2,220)=24$, $p<0,001$) et du contexte vocalique (cf. tableau 8). La propagation du mouvement du velum est la plus longue dans le contexte vocalique [a] pour les trois locuteurs.

Durée moyenne en ms et écarts types (σ) de la persévération du mouvement du velum														
		locuteurs						Voyelles entourages						
		Loc1		Loc2		Loc3		a		i		u		
		(n=61)		(n=96)		(n=81)		(n=79)		(n=79)		(n=80)		
	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ	ms	σ
[m]	122	32	143	33	121	31	112	28	142	26	121	31	105	30
(n=126)														
[n]	127	37	151	39	119	30	112	30	143	36	124	39	113	28
(n=112)														

Tableau 8: durées et écarts types (σ) de la persévération du mouvement complet du velum durant la production des consonnes nasales [m] et [n] du français.

Basset, P., Amelot, A., Crevier-Buchman, L. (à paraître) Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *PArole*.

3.4. Relation entre DAN et mouvement du velum

Dans 64 % des cas une persévération du flux nasal (de courte durée et de faible amplitude), alors que le velum est en position relevée montre que l'observation seule du DAN n'est pas une indication suffisante pour interpréter la position du velum (*cf.* figure 11). Nous confirmons en cela les résultats trouvés par (Benguerel, 1974). Ce phénomène se retrouve pour les trois locuteurs.

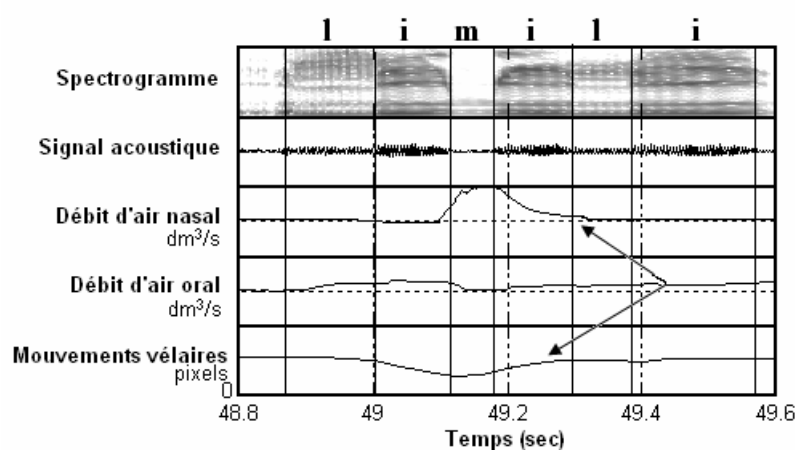


Figure 11: débit d'air négatif avant le DAN dans le logotome " limili " pour loc1.

Type de données	Durée	Influence des variables	Contexte allongeant	Anticipation %	Propagation %
acoustique.	66 ms	N>Loc>C ₁ >V ₁	[lu]		
Consonnes N aérodynamiques.	227ms	Loc>N>V ₁ >C ₁	[li]	37 %	100 %
DAN Articulatoire Mouvement du velum	294ms	V ₁ >loc>C ₁ >N	[la]	100 %	100 %

Tableau 9: variabilité, contexte allongeant et sens de la propagation pour les trois sortes de données simultanées durant la production de logotomes C₁V₁NV₁C₁. L'influence des variables est donnée de l'effet le plus grand vers le plus petit.

4. *CONCLUSION*

Nos résultats montrent une différence de durée en fonction du type de données, acoustiques, aérodynamiques ou articulatoires. La durée du cycle d'abaissement (durée articulatoire) est la plus longue ; la durée du débit d'air nasal (durée aérodynamique) est plus longue que la durée des segments correspondants aux consonnes nasales. Les résultats sont en accord avec la littérature. (Straka, 1965, p. 141 ; Fant, 1973 ; Bell-Berti, 1993) avaient déjà observé une durée articulatoire d'un segment plus longue que sa période acoustique et une période d'anticipation pour chaque articulateur, nécessaire et dépendante de l'identité du phonème.

L'influence de la nature de la consonne, du locuteur, de la voyelle d'entourage et de la consonne C_1 est également différente en fonction du type de données. Le locuteur et la nature de la consonne nasale sont les facteurs qui interagissent le plus sur la durée acoustique et la durée aérodynamique. En ce qui concerne la durée articulatoire, l'interaction entre la voyelle d'entourage et le locuteur est prépondérante (*cf.* tableau 9). Cette variabilité interlocuteur avait déjà été observée en anglais par (Vaissière, 1988) pour les mouvements vélaire et par Amelot en 2004 en français pour les mesures aérodynamiques.

La propagation du mouvement vélaire est autant régressive que progressive alors que la propagation du flux d'air est plutôt progressive.

La présence de flux nasal alors que le voile du palais est en position maximale relevée rappelle que mouvement vélaire et débit d'air ne sont pas toujours corrélés : des données vont être prochainement prises sur le degré d'ouverture du port vélopharyngé par une méthode de type nasograph (Ohala, 1971).

Une analyse complète du trait nasal implique de compléter également chaque type de données par des tests de perception pour évaluer la nasalité perçue ou non. (Maeda, 1993) a montré, par simulation acoustique et par des tests de perception, le rapport non linéaire entre la perception de la nasalité, l'identité de la voyelle et le degré de couplage des deux cavités. Pour (Durand,

Basset, P., Amelot, A., Crevier-Buchman, L. (à paraître) Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *PARole*.

1953, p. 34), la persévération importante de flux nasal n'a pas d'influence perceptive sur la distinction orale/nasale de la voyelle suivante. Elle donne l'exemple de " mes veaux ", [mevo] qui n'est jamais perçu comme " maints veaux " [mẽvo]. Des études sont en cours pour infirmer ou confirmer les remarques de Durand.

Les données multiparamétriques simultanées aérodynamiques et fibroscopiques apportent des informations nouvelles sur les mécanismes de production de la nasalité. Associés à des tests de perception, ces informations permettront d'élaborer un modèle de coarticulation nasale complet et d'expliquer l'origine de la diversité des observations.

5. *REMERCIEMENTS*

Nos plus vifs remerciements vont à Madame le Professeur Jacqueline Vaissière qui a dirigé cette étude et à Monsieur le Professeur Daniel Brasnu chef du service ORL à l'hôpital Européen Georges Pompidou qui nous a accueillies dans son service pour la prise de données aérodynamiques et fibroscopiques simultanées.

Patricia Basset
Université de la Sorbonne Nouvelle
Laboratoire de Phonétique et Phonologie
19, rue des Bernardins
75005 Paris
Φ : 0611367468
Fax : /
Courrier électronique : patricia-basset@club-internet.fr

Basset, P., Amelot, A., Crevier-Buchman, L. (à paraître) Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *Parole*.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AMELOT, A., *Etude aérodynamique, fibroscopique, acoustique et perceptive des voyelles nasales du français*, Sorbonne Nouvelle, Phonétique, 2004. Paris.

AMELOT, A. & ROSSATO, S., Velar Movements for the Feature [+nasal] for two French Speakers, *the 7th International Seminar of Speech Production (ISSP)*, Utaba (Brésil), 2006.

BASSET.P, AMELOT.A, VAISSIÈRE, J. & ROUBEAU, B., Nasal Airflow in French Spontaneous Speech, *Journal of the International Phonetic Association*, **31**,(1), pp. 87-99, 2001.

BELL-BERTI, F. & HIROSE, H., Pattern of Palatoglossus Activity and their Implications for Speech Organization, Haskins Laboratories, pp. 203-209, 1973.

BELL-BERTI, F., & HIROSE, H., Palatal Activity in Voicing Distinctions : a Simultaneous Fiberoptic and Electromyographic Study, *Journal of Phonetics*, **3**,(3), pp. 69-74, 1975.

BELL-BERTI, F., Understanding Velic Motor Control : Studies of Segmental Context, in Huffman, M. K., Krakow, R. initiale?, *Phonetics and phonology, Volume 5, Nasals, Nasalization and the Velum*, Academic Press, San Diego, pp. 63-85, 1993.

BENQUEREL, A.-P., Nasal Airflow Patterns and Velar Coarticulation in French, *Speech Communication Seminar*, Stockholm, pp. 105-112, 1974.

BENQUEREL, A.P., HIROSE, H., SAWASHIMA, M. & USHIJIMA, T., Velar Height and its Timing in French: a Fiberscopic Study, *Annual Bulletin, Research Institute of Logopedics and Phoniatrics*, **9**, pp. 67-78, 1975.

Basset, P., Amelot, A., Crevier-Buchman, L. (à paraître) Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *PArole*.

CLUMECK, H., Patterns of Soft Palate Movements in Six Languages, *Journal of phonetics*, **4**, pp. 337-351, 1976.

COHN, A.C., *Phonetic and Phonological Rules of Nasalization*. UCLA Working Papers in Phonetics ;vol. 76, Los Angeles, 1990.

DELVAUX, V., METENS, T. & SOQUET, A., French Nasal Vowels: Acoustic and Articulatory Properties, *7th International Conference on Spoken Language Processing*, Denver Colorado USA, 2002.

DURAND, M., De la formation des voyelles nasales, *Studia Linguistica*, **7**, pp. 33-53, 1953.

FANT, G., *Speech Sounds and Features*, the MIT Press, Cambridge Massachusetts and London, England, 1973.

HENNINGSSON, G. & ISBERG, A., Comparison between Multiview Videofluoroscopy and Nasendoscopy of Velopharyngeal Movements, *Cleft Palate-Craniofacial Journal*, **28**,(4), pp. 413-418, 1991.

HUFFMAN, M. K., Rena, *Phonetics and phonology, Volume 5, Nasals, Nasalization and the Velum*, Academic Press, San Diego, 1993.

MADDIESON, I., UCLA Phonological Segment Inventory: Data and Index, *UCLA Working Papers in Phonetics*, **53**, p. 242, 1981.

MAEDA, S., Acoustics of Vowel Nasalization and Articulatory Shifts in French Nasal Vowels, in Huffman, M. K, Krakow, R. *Phonetics and Phonology, Volume 5, Nasals, Nasalization and the Velum*, Academic Press, San Diego, pp. 167-174, 1993.

MOLL, K., Velopharyngeal Closure on Vowels, *Journal of Speech and Hearing Research*, **5**,(1), pp. 30-37, 1962.

Basset, P., Amelot, A., Crevier-Buchman, L. (à paraître) Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *Parole*.

MOLL, K. & DANILOFF, R. G., Investigation of the Timing of Velar Movements during Speech, *Journal of the Acoustical Society of America*, **50**, pp. 678-684, 1971.

OHALA, J., Monitoring Soft Palate Movements in Speech, *JASA*, **50**,(1), p. 140, 1971.

OHALA, M. & OHALA, J.J., Nasal Epenthesis in Hindi, *Phonetica*, **48**,(2-4), pp. 207-220, 1991.

OUVAROFF, T. & ROSSATO, S., Nasalité consonantique et coarticulation : étude perceptive. Paper presented at Journée d'Etudes sur la parole, Dinard, 2006.

PASSY, P.E., *Etude sur les changements phonétiques et leurs caractères généraux*, vol. 1, Firmin-Didot, Paris, 1890.

STEVENS, K., *Acoustic Phonetics*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts & London, England, 1998.

STRAKA, G., *Album Phonétique*, Les Presses de l'Université Laval, Québec, 1965.

TESTON, B. & GALINDO, B., Design and Development of a Work Station for Speech Production Analysis, *Proceedings of Verba 90*, Alcatel-Face, Roma, Italy, pp. 400-4008, 1990.

VAISSIÈRE, J., Prediction of Velum Movement from Phonological Specifications, *Phonetica*, **45**,(2-4), pp. 122-139, 1988.

RESUME

Le but de ce travail est d'apporter une contribution aux problèmes des relations temporelles entre le flux d'air nasal et les mouvements d'abaissement et d'élévation du voile du palais. Des données aérodynamiques et fibroscopiques ont été prises simultanément, durant la production des consonnes [m] et [n]. Trois locuteurs de français "parisien" ont lu 238 logatomes du type CVNVCV (C=[m] ou [n] et V=[a,i,u]). Les durées acoustiques, aérodynamiques, articulatoires et le sens de la propagation du trait nasal sur les voyelles adjacentes ont été analysés. Les résultats indiquent une grande variabilité en fonction de la consonne nasale, du locuteur et de l'entourage vocalique. La durée du mouvement vélaire pour un cycle complet (de la position haute du voile du palais suivie d'un abaissement, puis d'un retour à une position haute) est plus grande que la durée de la présence du flux d'air nasal durant la production de la consonne nasale. La propagation du mouvement vélaire est autant régressive que progressive alors que la propagation du flux d'air est plutôt progressive.

SUMMARY

The goal of this work is to contribute to the problem of the temporal relationship between nasal airflow and velic movement. Simultaneous aerodynamic and fiberoptic data have been taken during the production of French nasal consonant [m] and [n]. Three French native speakers have read 238 CVNVCV logatoms where C=[m] or [n] and V = [a,i,u]). The duration of the nasal murmur, the nasal air flow, velic movement and the direction of nasal feature spreading is analyzed. The results indicate a great interspeaker variability between nasal consonant [m] and [n]. As expected, the duration of velum movement is longer than the duration of the nasal airflow. Propagation of velum movement is anticipatory and progressive and propagation of nasal airflow is more progressive than regressive

Basset, P., Amelot, A., Crevier-Buchman, L. (à paraître) Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *PArole*.